

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
TRABAJO FIN DE GRADO

**AUTOCONSUMO EN LOS SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Autor: **Diana Domínguez Durán**
Tutor: **Vicente Salas Merino**

Leganés, Junio de 2014



***“Cuando menos lo
esperamos, la vida nos
coloca delante un desafío
que pone a prueba nuestro
coraje y nuestra voluntad de
cambio”.***

Agradecimientos

Gracias a este proyecto, voy a poder agradecer a todas las personas que me han ayudado en la etapa más importante y a la vez dura de mi vida.

Primeramente, agradecer a mi familia, en especial a mis padres y hermanos, por su gran apoyo durante toda mi vida, ya que sin ellos esto no habría sido posible. Ellos me han enseñado a no rendirme a pesar de las adversidades y cuando creía que todo se desmoronaba. Gracias al esfuerzo que hacen día a día, me han ayudado a luchar hasta conseguir lo que deseaba.

A una persona muy especial, David. No me ayudó a tomar la decisión más importante de mi vida al escoger esta carrera y hacerme ingeniera, pero ha estado ahí desde hace seis años, diciéndome que no dejase de luchar ni tirara por la borda el trabajo y esfuerzo de todos estos años. Muchas gracias por ser una pieza fundamental en mi vida y por todo lo que me has aportado estando ahí día a día.

No quiero olvidarme de amigos y compañeros de universidad, cada uno me ha ayudado a su manera.

A Francisco Ramírez, “Paco”, por su ayuda incondicional durante estos meses y por enseñarme tantas cosas de este mundillo de los sistemas fotovoltaicos.

Por último, dar las gracias a mi tutor, D. Vicente Salas, por darme la oportunidad de realizar el presente Trabajo Fin de Grado y aportarme gran cantidad de conocimientos sobre la energía solar fotovoltaica.

Resumen

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objeto principal realizar un análisis de los diferentes tipos de Autoconsumo que tenemos en nuestro país, además de la ley que lo regula actualmente, ley 24/2013. Dicha ley, obliga a los consumidores a darse de alta en el registro administrativo de autoconsumo y fija un peaje de acceso a la red, lo que eleva el precio de la energía eléctrica; además quien incumpla la obligación del registro, los requerimientos económicos o los requisitos técnicos, será sancionado con multas de hasta millones de euros.

Analizaremos con más detalle, los objetivos de la nueva ley de Autoconsumo, que aunque es un borrador, a la espera de aprobación en el Parlamento, ya da unas pautas de las limitaciones del Autoconsumo fotovoltaico en España.

Primeramente, haremos una introducción a la energía solar fotovoltaica y sus ventajas. Definiremos lo que es un sistema fotovoltaico, sus componentes (módulos fotovoltaicos, inversor, regulador de carga y baterías) y los tipos de sistemas fotovoltaicos que hay:

- Sistemas Fotovoltaicos Aislados o Autónomos.
- Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red.

Trataremos la energía solar en nuestro país y en algunos países de Europa y del resto del mundo, analizando la situación actual de cada uno de ellos, y viendo que sin ayuda de los respectivos gobiernos es imposible fomentar este tipo de energía.

Introduciremos el concepto de autoconsumo y describiremos con detalle los tipos de Autoconsumo que hay ahora mismo en España y sus aplicaciones:

- Autoconsumo Fotovoltaico Instantáneo.
- Autoconsumo Fotovoltaico Aislado de la red.
- Autoconsumo Fotovoltaico por Balance Neto.

En el caso de Autoconsumo Instantáneo, un elemento primordial es el gestor energético, que nos asegurará la no inyección de energía excedente a la red.

No entraremos en detalle pero sí hablaremos de los Sistemas Híbridos, que son una combinación de dos o más fuentes de alimentación que juntas forman un sistema. Hoy día son una solución para lograr la máxima eficiencia de cada tecnología, y con ello reducir el consumo de energías más contaminantes como es el petróleo y disminuir las emisiones de CO₂.

Este tipo de sistemas, al poseer dos fuentes de alimentación, son más fiables que los que tienen una única fuente. Lo que se pretende es disminuir los costes y son ideales para cualquier tipo de instalación, exceptuando las de consumo muy bajo.

Para finalizar, analizaremos un ejemplo de dimensionado de un Autoconsumo Instantáneo, donde elegiremos los módulos fotovoltaicos, el inversor y el gestor energético para una potencia ya contratada. Comprobaremos que en las horas en las cuales no se cubre el consumo con la generación, esa energía la tomaremos de la red; y si el sistema genera más energía que la consumida, actuará dicho gestor, para garantizar no inyectar energía a la red eléctrica.

Con el software de cálculo de instalaciones solares PVSYST, parametrizaremos la instalación fotovoltaica y comprobaremos que nos dan resultados similares a los obtenidos manualmente.

Abstract

This Bachelor's Degree Thesis has as main goal: to analyze the different types of PV Self-Consumption in our country, and study the Law 24/2013 that regulates it nowadays. This law forces the consumers to join the Record of Self-Consumption and fixes a fee for accessing the network, leading to an increase of the price of the electric power. In addition to this, those who don't join the Record or fail to comply with the economic and technical requirements are fined up to million euros.

We will analyze in detail the aims of the new law of Self-consumption, still a draft while waiting for the approval of the Parliament. This preliminary form already gives a few guidelines to the limitations of the Self-Consumption in Spain.

Firstly, we will do an introduction to the photovoltaic solar power and its advantages. We will define what a photovoltaic system is, which its components are (photovoltaic modules, inverter, charge controller and batteries) and the types of photovoltaic systems that exist:

- Photovoltaic Isolated or Autonomous Systems.
- Photovoltaic Systems connected to the network.

We will deal with the solar power in Spain and some other countries in Europe and around the World, analyzing the current situation of each one of them and concluding that it is almost impossible to boost this type of energy without governmental support.

We will introduce the concept of Self-Consumption and will describe in detail the types of Self-Consumption that exist in Spain, and their applications:

- Photovoltaic Instantaneous Self-Consumption.
- Photovoltaic Off-Grid Self-Consumption.
- Photovoltaic On-Grid Net Metering Self-Consumption.

In the case of Instantaneous Self-consumption, the power manager is a basic element that assures no injection of excessive energy to the grid.

Not in detail we will address the Hybrid Systems, which are a combination of two or more power sources, forming a system. Today, they are a way to achieve the maximum efficiency of every technology, reducing the CO₂ emissions and the consumption of the most pollutant energies like oil.

These two power sources systems are much more reliable than those with only one source. The goal is to reduce the costs, making them appropriate for any installation, leaving out those with very low consumption.

To conclude, we will analyze an example of Instantaneous Self-consumption measurement, choosing the photovoltaic modules, the inverter and the power manager for an already contracted power. We will verify that in the hours in which the consumption is not covered by the generation, this energy will be taken from the network; and if the system generates extra energy, the above mentioned manager will operate so there is no injection of energy to the electrical network.

With the solar facilities calculation software PVSYST we will customize the photovoltaic installation, verifying we get similar results to those obtained manually.

Índice General

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	7
Capítulo 1. Introducción a la energía solar fotovoltaica	14
1.1. Introducción	14
1.2. Ventajas de la energía solar fotovoltaica	16
1.2.1. Ventajas medioambientales	16
1.2.2. Ventajas económicas	17
1.2.3. Ventajas de imagen.....	17
1.3. Introducción a los sistemas fotovoltaicos	18
1.4. La energía solar en España	20
Capítulo 2. Sistemas fotovoltaicos: configuraciones	23
2.1. Sistema fotovoltaico: Definición	23
2.2. Componentes de un sistema fotovoltaico	27
2.2.1. Módulos Fotovoltaicos	28
2.2.2. Regulador	32
2.2.3. Baterías	34
2.2.4. Inversor u Ondulador.....	36
2.2.5. Cables y conexionado.....	38
2.3. Sistemas fotovoltaicos: configuraciones.....	39
2.3.1. Sistemas autónomos o aislados (stand alone).....	40
2.3.2. Sistemas conectados a la red de distribución (grid connected)	45
2.4. Mantenimiento de un sistema fotovoltaico	48
2.4.1. Mantenimiento de sistemas aislados	49
2.4.2. Mantenimiento de sistemas conectados a la red.....	50

Capítulo 3. Sistemas de Autoconsumo: configuraciones	51
3.1. ¿Qué es el autoconsumo?	51
3.2. Componentes de un sistema de autoconsumo fotovoltaico	53
3.3. Configuraciones	55
3.3.1. Autoconsumo Fovovoltaico Instantáneo.	55
3.3.2. Autoconsumo Fovovoltaico Aislado de la red.	62
3.3.3. Autoconsumo Fovovoltaico por Balance Neto y con venta a red eléctrica: “Net Metering”, también denominado Autoconsumo Diferido.	66
 Capítulo 4. Análisis de un ejemplo	 72
4.1. Emplazamiento de la instalación fotovoltaica	72
4.2. Descripción general de la instalación.	74
4.2.1. Elección de los paneles fotovoltaicos.	74
4.2.2. Elección del inversor.	82
4.2.3. Gestor energético	84
4.3. Diagrama Unifilar	85
4.4. Energía generada por la instalación	86
4.5. Consumo y generación fotovoltaica.	89
4.6. Simulación con PVSYST	91
 Capítulo 5. Conclusiones	 97
 Capítulo 6. Bibliografía y Referencias	 99

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Paridad con la red en España.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Electricidad generada en España en Febrero de 2014.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Radiación solar en España.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5. Mercado fotovoltaico en España.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6. Potencia solar instalada en España.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8. Esquema típico de un sistema híbrido fotovoltaico-diesel.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9. Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red. ..</i>	<i>26</i>
<i>Figura 10. Elementos de un sistema fotovoltaico.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11. Características de los módulos fotovoltaicos según la tecnología de fabricación.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12. Asociación de células solares.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13. Curva I-V de un módulo fotovoltaico.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 14. Estructura fija.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15. Estructura móvil.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica. ..</i>	<i>32</i>
<i>Figura 17. Principales tipos de baterías.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18. Sistema fotovoltaico con batería de 12V.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19. Esquema de un sistema fotovoltaico aislado de la red.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 20. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 21. Esquema de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel. ...</i>	<i>42</i>
<i>Figura 22. Evolución del precio (c€/l) del gasóleo industrial.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23. Evolución del coste de los módulos fotovoltaicos.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 24. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25. Sistema fotovoltaico con contador bidireccional de energía. ..</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26. Evolución de los precios en kWh.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 27. Precios y energías del mercado eléctrico español a 10/05/2014.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 28. Instalación fotovoltaica con gestor energético o CDP.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29. Esquema Autoconsumo fotovoltaico instantáneo.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Esquema Autoconsumo instantáneo con gestor energético ..</i>	<i>56</i>
<i>Figura 31. Consumo de una vivienda con autoconsumo instantáneo. ...</i>	<i>57</i>

Figura 32. Pasos del proceso de legalización.	58
Figura 33. Consumo eléctrico de la red eléctrica en marrón y en verde el autoconsumo desde energía fotovoltaica.....	60
Figura 34. Esquema Autoconsumo fotovoltaico aislado de la red.	62
Figura 35. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv) con gestor energético.	63
Figura 36. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv+ Respaldo de potencia) con gestor energético.	63
Figura 37. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv + Baterías) con gestor energético.	64
Figura 38. Esquema Autoconsumo fotovoltaico por Balance Neto.	66
Figura 39. Conexión a la red de un sistema fotovoltaico de autoconsumo y Balance Neto	67
Figura 40. Funcionamiento de un sistema de autoconsumo y Balance Neto.	68
Figura 41. Balance neto individual.	70
Figura 42. Localización del restaurante en el municipio de La Calzada de Oropesa (Toledo).	72
Figura 43. Aparcamiento fotovoltaico del restaurante.....	73
Figura 44. Características del módulo fotovoltaico SUNTECH STP 290	75
Figura 45. Angulo azimut.	76
Figura 46. Inclinação de los módulos.....	76
Figura 47. Inclinação de los paneles según la latitud.	77
Figura 48. Inclinação óptima anual (PVSYST 5.73).	78
Figura 49. Inclinação óptima verano (PVSYST 5.73).	78
Figura 50. Inclinação óptima invierno (PVSIST 5.73).....	79
Figura 51. Distancias mínimas.....	80
Figura 52. Dimensiones del módulo fotovoltaico STP 290-24/Vd.....	81
Figura 53. Características del inversor de la instalación fotovoltaica. ...	83
Figura 54. Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica del parking.	85
Figura 55. Irradiancia del lugar.....	86
Figura 56. Radiación solar horas solares pico.	87
Figura 57. Gráfica de consumo y generación de la instalación fotovoltaica.....	89



<i>Figura 58. Gráfica de consumo y generación que se aproxima a campana de Gauss.</i>	<i>90</i>
---------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Capítulo 1. Introducción a la energía solar fotovoltaica



1.1. Introducción

Debido al crecimiento de las energías renovables, sobretudo la solar, tanto térmica como fotovoltaica, han tenido un gran desarrollo las instalaciones fotovoltaicas. Además, las crisis económicas debidas a la variación al alza de los precios de los combustibles energéticos y los problemas de la contaminación ambiental generada por ellos, han hecho que se tome conciencia para reducir la utilización de las energías tradicionales procedentes de combustibles fósiles que son más contaminantes que las de fuentes alternativas.

La **energía solar fotovoltaica** es una forma de aprovechamiento de la radiación solar, que consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en los **paneles o módulos solares**.

La electricidad la obtenemos de los módulos fotovoltaicos, los cuales están formados por dispositivos semiconductores, también conocidos como células fotovoltaicas, que cuando reciben la radiación solar se excitan y generan una diferencia de potencial en sus extremos.

Conectar estos dispositivos en serie nos permite obtener diferencias de potencial mayores, lo que conlleva mayores voltajes en configuraciones simples.

A mayor escala, la corriente eléctrica continua que nos dan los paneles fotovoltaicos puede transformarse en corriente alterna e inyectarla en la red.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y hay difícil acceso a la red, el uso de paneles solares es más rentable aún. Es el caso de viviendas rurales, estaciones meteorológicas o repetidores de telecomunicaciones.

En los años 50, los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo debido a temas espaciales. A día de hoy las aplicaciones son diversas.

Existen fundamentalmente dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: **instalaciones aisladas de la red eléctrica e instalaciones conectadas a la red**. De las cuales hablaremos más detalladamente en el próximo capítulo.

1.2. Ventajas de la energía solar fotovoltaica

La producción de energía solar fotovoltaica tiene innumerables ventajas, pero destacaremos las más importantes.



1.2.1. Ventajas medioambientales

La producción de energía a través de fuentes renovables como es el caso de la solar fotovoltaica nos lleva a desarrollar un planeta más limpio y sostenible.

Hay múltiples ventajas medioambientales, entre las cuales destacaremos:

- Proviene del sol, que es una fuente inagotable.
- No contamina ni produce emisiones de CO₂.
- No precisa de suministro exterior ni necesita otros recursos como el agua o el viento.
- No emite ruidos.
- Reduce la dependencia energética.
- La mayor producción de esta energía coincide con las horas de mayor consumo.
- Los sistemas son fáciles y sencillos de instalar.
- Posee una versatilidad elevada ya que los sistemas pueden instalarse en casi cualquier lugar y dichas instalaciones pueden ser de cualquier tamaño.
- Las instalaciones son fácilmente modulables, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades de cada tipo de usuario.
- Posee un mantenimiento reducido y un riesgo de avería muy bajo.
- La vida útil de los módulos es larga, alrededor de 30 años.
- Los sistemas resisten condiciones climatológicas extremas como granizo, viento o frío.
- Es idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega o es dificultoso y costoso su traslado.
- Atrae inversores.
- El coste de los componentes disminuye a medida que avanza la tecnología.
- Proporciona ahorros económicos.

1.2.2. Ventajas económicas

Cada vez hay más países en los cuales se permite el autoconsumo, lo cual genera ahorros económicos considerables para propietarios e inversores de plantas solares fotovoltaicas.

Los sistemas al tener una larga vida útil hacen que se amortice lo invertido en un periodo de tiempo corto.

1.2.3. Ventajas de imagen

La generación de energía limpia es un valor añadido a la imagen individual de las personas o empresas que contribuyen a su desarrollo.

Tiene una serie de valores positivos añadidos como son “responsabilidad”, “tecnología”, “sostenibilidad”, “preservación del medioambiente”, “compromiso”, “futuro” o “innovación”.

Si tomásemos mejores medidas para aprovechar esta fuente de energía que es gratuita, limpia e inagotable, nos liberaríamos de la dependencia del petróleo y de otras fuentes de energía que son poco seguras, contaminantes y agotables.

1.3. Introducción a los sistemas fotovoltaicos

Un **sistema fotovoltaico** es una instalación o conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, que captan y convierten la luz solar en energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos se instalan en tejados, terrazas, patios o cualquier lugar en el que haya una exposición directa a la luz del sol.

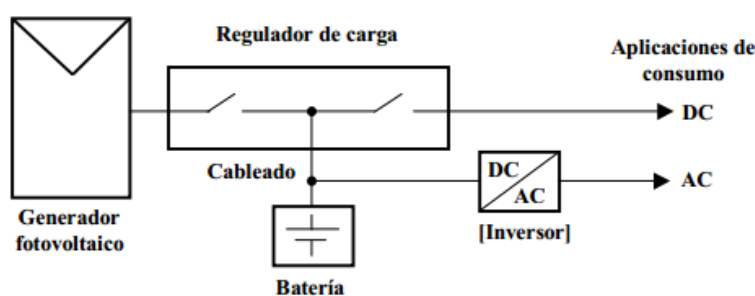


Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico.

Para que un sistema fotovoltaico funcione se tiene que dar el siguiente proceso: la luz del sol incide sobre la superficie del panel fotovoltaico, donde es convertida en energía eléctrica de corriente continua por las celdas solares, dicha energía es recogida y conducida hasta un regulador de carga que envía parte o toda esta energía hasta las baterías, donde es almacenada.

El regulador de carga también evita exceder los límites de sobrecarga y sobredescarga en las baterías.

La energía que hemos almacenado la utilizamos para abastecer las cargas durante la noche, en días de baja insolación o cuando el sistema fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo.

Si las cargas que tenemos que alimentar son de corriente directa, estas se alimentan a través del sistema fotovoltaico o gracias a las baterías. En cambio, si son de corriente alterna, la energía hay que enviarla al inversor, para convertirla en corriente alterna.

Las principales ventajas de los sistemas fotovoltaicos son:

- No requiere un mantenimiento habitual y tiene una duración de entre 25 y 30 años.
- Reducen la demanda de energía de otras fuentes más contaminantes y agotables, y contribuyen a reducir la contaminación del medio ambiente.
- Aumenta el valor de los activos de la propiedad, lo que es lo mismo que aumentar el precio de dicha propiedad.

Actualmente, la reducción del coste de las instalaciones solares junto al incremento del coste de la energía eléctrica que están soportando los consumidores finales, ha posibilitado la llegada a la llamada **paridad con la red**, o lo que es lo mismo, el momento en el que una fuente de generación de energía puede producir electricidad a un coste inferior o igual al precio de compra de la electricidad directamente de la red. Este concepto se usa fundamentalmente en el campo de la fotovoltaica, ya que se ha reducido el coste de los equipos como los inversores y los paneles fotovoltaicos y eso facilita el uso de esta fuente de energía. Esto se produjo entre 1990 y 2010, pero entre finales de 2009 y mediados de 2011 los paneles bajaron un 70% por lo que se ha acelerado más.

A día de hoy, podemos decir que la bajada en el coste es aproximadamente del 80%.

La reducción del coste se ha producido gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala (reducciones en los costes de una empresa gracias a la expansión), lo que ha hecho que el coste medio de esta energía sea competitivo con las fuentes de energía convencionales.

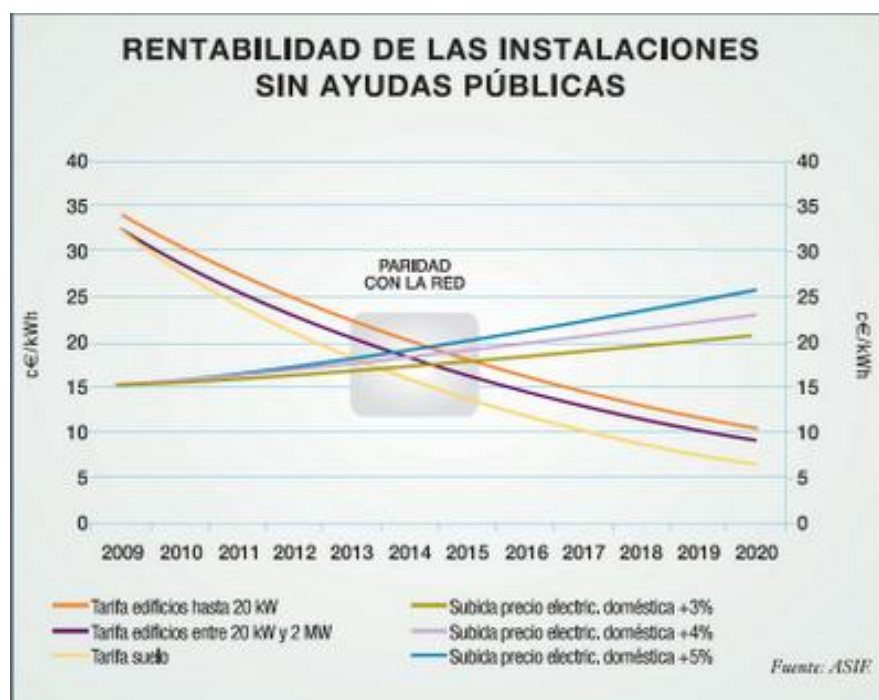


Figura 2. Paridad con la red en España.

1.4. La energía solar en España

En el siguiente gráfico podemos observar el origen de la electricidad generada en España en el mes de febrero de 2104.

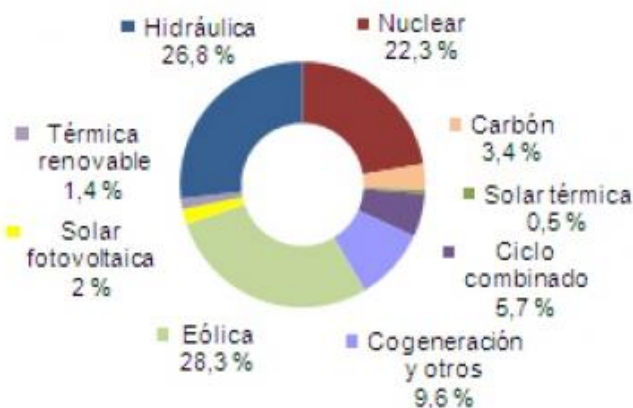


Figura 3. Electricidad generada en España en Febrero de 2014.

Las energías renovables: **eólica**, **hidráulica** y **solar** consiguieron producir en dicho mes el 59% de toda la energía eléctrica de España, según datos de Red Eléctrica de España (REE), lo que supone un máximo histórico.

El anterior récord se produjo en abril del 2013 con un 54,2%.

España se encuentra en una privilegiada situación y tiene una estupenda climatología, pero no se han impulsado con mucha fuerza las instalaciones de energía solar. Alemania es un ejemplo de cómo las políticas en materia de incentivos y legislación pueden impulsar dicha energía.

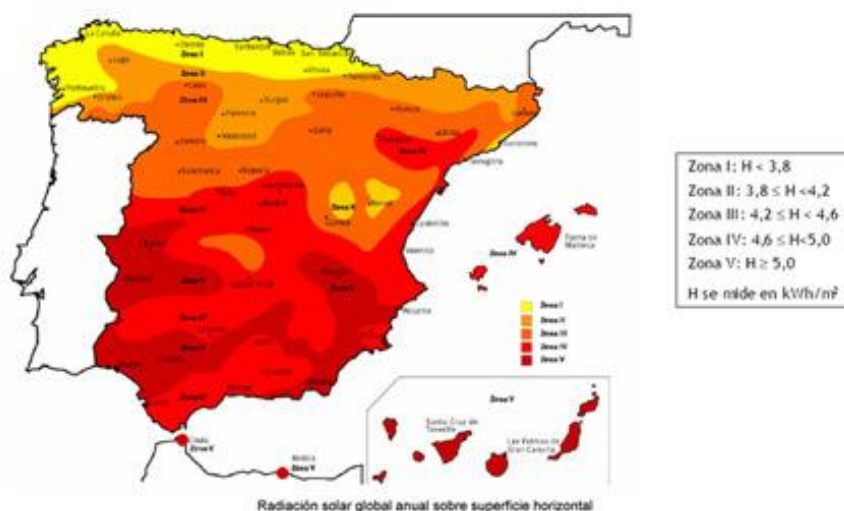


Figura 4. Radiación solar en España.

El modelo más desarrollado en España es el conocido como **huerta solar**, que consiste en agrupar varias instalaciones de distintos propietarios en suelo rústico.

Alemania es uno de los líderes mundiales en la instalación de energía fotovoltaica, con una potencia instalada a finales de 2012 superior a los 32 GW. Japón, está entre los 5 primeros en potencia instalada, con casi 7000 MW a finales de 2012.

En el 2008, España fue uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo, con 2708 MW instalados. Debido a los cambios producidos en la legislación del sector, se frenaron la construcción de nuevas plantas fotovoltaicas, por lo que en 2009 se instalaron tan sólo 19 MW, en 2010, 420 MW, y en 2011 se instalaron 354 MW, correspondiendo al 2% del total de la Unión Europea.

A finales de 2013 la potencia fotovoltaica instalada en España ascendía a 4679 MW.

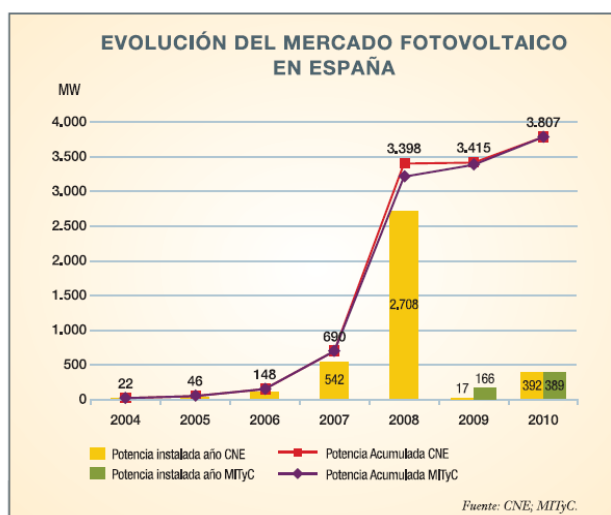


Figura 5. Mercado fotovoltaico en España

La potencia instalada solar (fotovoltaica y termosolar) ha aumentado hasta 6.981 MW en 2013 y cubre el 4,9 % de la demanda de energía eléctrica, según datos de REE.



Figura 6. Potencia solar instalada en España.

El verdadero marco regulador que impulsó definitivamente el desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red fue el **RD 436/2004** [1] y el **RD 661/2007** [2], que regulaba la producción de energía eléctrica en régimen especial y estipulaba una prima de 0,44 € por cada kWh que se inyectaba a la red en el caso de $P < 100\text{kW}$, 0,417€/kWh hasta 10MW y 0,229€/kWh hasta 50MW.

Gracias a ello, España fue en 2008 uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo.

A partir de septiembre de 2008 esta actividad quedó regulada mediante el **RD 1578/2008** [3] de retribución fotovoltaica, que estableció una bajada de primas y variables en función de la situación de la instalación (suelo: 0,32 €/kWh o tejado: 0,34 €/kWh).

Limita mediante la asignación de unos cupos de producción anuales la implantación de esta tecnología en España.

En 2010, se aprueba el **RD 1565/2010** [4], con límite de primas a 26 años y reducción de las mismas.

A finales de 2011, el **RD 1699/2011** [5]. El cual, legaliza las instalaciones de autoconsumo, pero que hasta hoy es un vacío legal.

En enero de 2012, se aprueba el **RD 1/2012** [6] que supone el fin de las primas. Las nuevas plantas fotovoltaicas que no estuvieran inscritas en cupos no recibirán prima alguna pero podrán vender la energía al precio que se encuentre en el mercado. Dicha situación provoca una grave contradicción, por una parte entre los objetivos de la Unión Europea para impulsar las energías limpias, y por otra en España, la escasa liberalización del sector energético que impide el despegue y la competitividad de las energías renovables y la generación distribuida.

Actualmente, el acceso a la red eléctrica en España requiere una serie de permisos de la administración y la autorización de la compañía eléctrica distribuidora, la cual tiene la obligación de dar punto de enganche o conexión a la red eléctrica, pero el papeleo y el recelo de las eléctricas son los que están frenando el impulso de las energías renovables y en concreto la fotovoltaica.

El último borrador publicado, **Borrador de autoconsumo o Ley 24/2013** [7], establece un peaje para el autoconsumo y una tarifa plana de electricidad.

Capítulo 2. Sistemas fotovoltaicos: configuraciones

2.1. Sistema fotovoltaico: Definición

Un **sistema fotovoltaico** es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible en energía eléctrica [7].

Tiene como objetivo la captación de la radiación solar y su transformación en energía eléctrica para su consumo. Tiene como elemento esencial los **paneles o módulos fotovoltaicos**, que se encargan de transformar la radiación solar en electricidad a partir del efecto fotovoltaico.

La electricidad generada es corriente continua, pero la energía producida puede utilizarse como tal (CC) o transformarse en corriente alterna (110 a 220V) para ser utilizada por aparatos eléctricos. Esto se lleva a cabo en el **inversor**.

También podemos definirlo como el conjunto de elementos que están conexiados entre sí y son capaces de proporcionar energía eléctrica, a partir de la transformación directa de la energía solar.

Al conjunto de paneles fotovoltaicos unidos entre sí con el fin de obtener la potencia requerida, se le denomina **generador fotovoltaico**. La asociación de dichos paneles en serie o en paralelo, permite obtener diferentes valores de intensidad y tensión a la salida del generador fotovoltaico.

Los demás componentes de un sistema fotovoltaico, están situados entre el generador fotovoltaico y el usuario final de la energía, su estructura y localización dentro del sistema depende del tipo de instalación que se vaya a construir. Generalmente, son elementos típicos de una instalación o sistema fotovoltaico el panel fotovoltaico y el inversor.

Además, en sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados constituyen parte de cualquier instalación los sistemas de acumulación o baterías y los reguladores o sistemas de control.

Realizar una descripción completa de las aplicaciones que tiene la energía solar fotovoltaica es complicado, ya que es posible su utilización para innumerables fines. Las restricciones en cuanto a su aplicación vienen determinadas por lo rentable que sea el uso de dicha energía en relación a otras fuentes de energía convencionales.

La podemos clasificar en función de los campos de aplicación, ya que sus aplicaciones son diversas y abarcan muchos campos:

- Electrificación rural: viviendas aisladas, viviendas de fin de semana o de ocupación periódica y refugios de montaña.
- Telecomunicaciones: repetidores de radio y televisión, radioteléfonos y telemetría.
- Señalización y protecciones para navegación aérea, señalización de autopistas, teléfonos de urgencia en autopistas, señalización de ferrocarriles, equipos de radio en puestos de vigilancia forestal, boyas para navegación marítima y señalización e iluminación de plataformas petrolíferas.
- Señalización de estaciones meteorológicas, estaciones de medida medioambiental, plataformas oceánicas de toma de datos, control y operación remota de presas y protección civil.
- Protección catódica: puentes, gaseoductos y oleoductos.
- Iluminación: iluminación pública y publicidad donde es difícil llevar una línea eléctrica convencional.
- Aplicaciones agrícolas: bombeo de agua, riego por goteo, iluminación y control de invernaderos y telecontrol de redes de riego.
- Aplicaciones ganaderas: iluminación de granjas y establos, sistemas de ordeño, sistemas de refrigeración de la leche y electrificación de cercas.
- Aplicaciones militares: generadores autónomos, equipos de campaña, radioteléfonos y cargadores de batería.
- Desalinización: depuración del agua del mar.
- Aplicaciones de recreo: yates y veleros, equipamiento de áreas recreativas, camping y caravana.
- Otras aplicaciones: relojes electrónicos, calculadoras de bolsillo, juguetes y maquetas, y kits educativos.

Aunque la energía solar fotovoltaica tiene múltiples aplicaciones, las grandes áreas de actuación son 2:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados.
- Sistemas conectados a la red.

Los **sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados** se diseñan para garantizar cubrir toda la demanda energética.

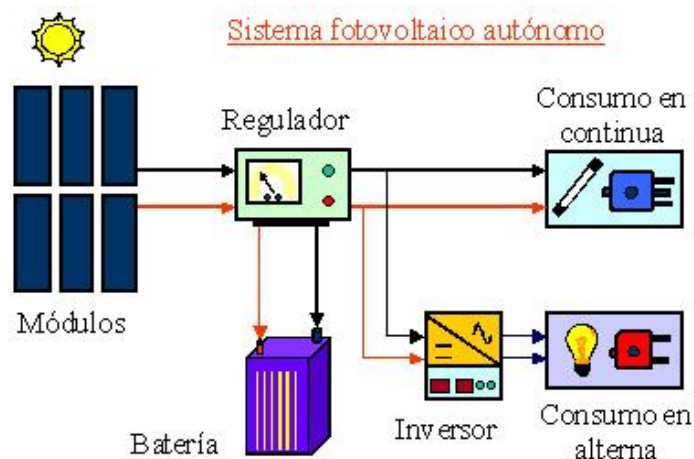


Figura 7. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo.

Menos los sistemas de bombeo, todos los sistemas fotovoltaicos autónomos tienen un sistema de acumulación o baterías.

La rentabilidad de dichos sistemas, viene dada por la competitividad con la red eléctrica o los grupos electrógenos.

Se usan fundamentalmente para bajas necesidades energéticas y lugares aislados de la red.

Dentro de los sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados tenemos los **sistemas híbridos**, que se caracterizan porque además de los paneles fotovoltaicos, incluyen una o varias fuentes auxiliares de potencia, como son un generador gasolina o diesel, o un generador eólico.

La fiabilidad de los sistemas híbridos, al no depender de una sola fuente energética, suele ser mayor.



Figura 8. Esquema típico de un sistema híbrido fotovoltaico-diesel.

Los **sistemas conectados a red** como su propio nombre indica están conectados a la red eléctrica. Dicha conexión entre los módulos fotovoltaicos y la red se realiza a través del inversor, el cual debe ser capaz de asimilar las variaciones de voltaje y potencia de los paneles fotovoltaicos, trabajar en el punto de máxima potencia y mandar energía con una calidad admisible a la red.

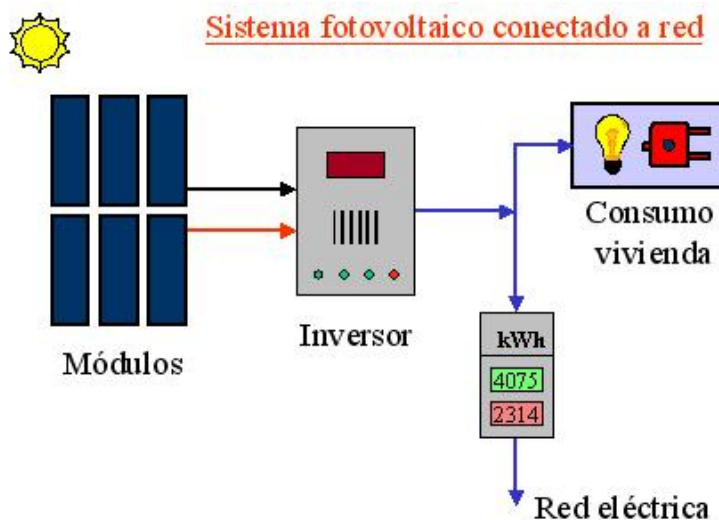
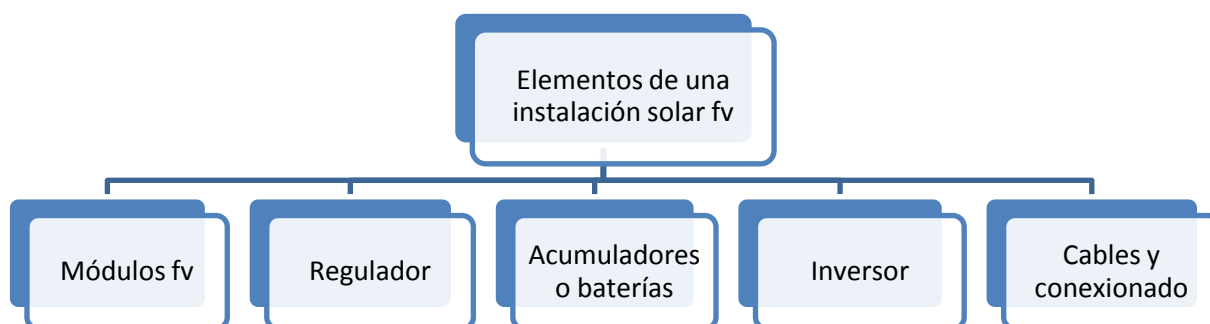


Figura 9. Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red.

De los tipos de sistemas fotovoltaicos y sus configuraciones hablaremos más detalladamente a continuación.

2.2. Componentes de un sistema fotovoltaico



Los elementos de un sistema fotovoltaico, ya sea aislado o conectado a red, pueden ser diferentes, pero como elementos fundamentales tenemos: **módulos fotovoltaicos, regulador, sistemas de acumulación o baterías, inversor y cables/conexionado.**

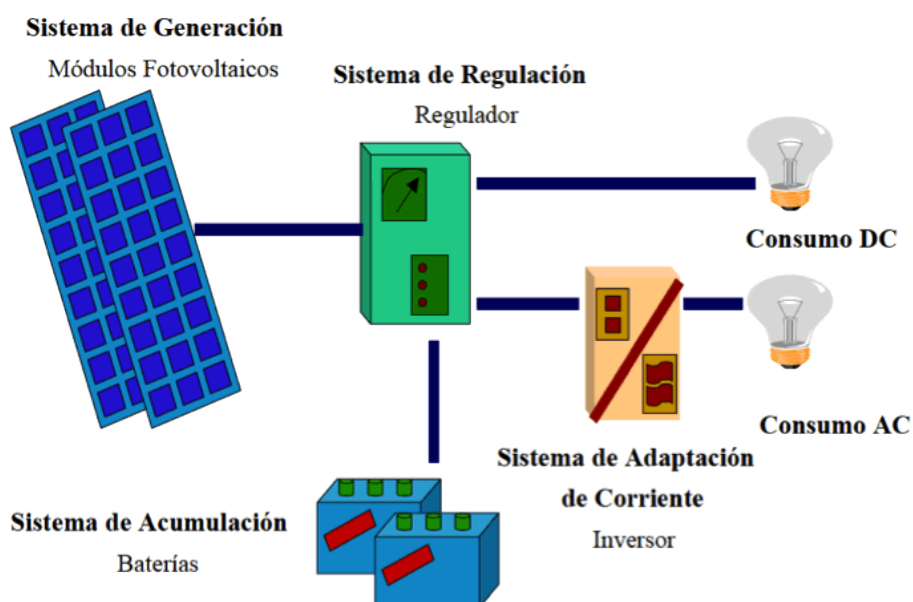


Figura 10. Elementos de un sistema fotovoltaico.

2.2.1. Módulos Fotovoltaicos

Las células solares aportan valores de tensión y corriente limitados, son débiles y eléctricamente no aisladas, por lo que se unen de manera adecuada para formar una única estructura, denominada panel o módulo fotovoltaico, la cual ya es una estructura sólida y manejable.

Los módulos fotovoltaicos son el elemento esencial de la instalación ya que se encargan de la conversión de la energía solar en energía eléctrica de corriente continua.

Pueden ser de varios tipos dependiendo de la tecnología de fabricación de las células solares: silicio cristalino (monocristalino y policristalino) y silicio amorfo. Los más utilizados para este tipo de instalación son los paneles con tecnología monocristalina y policristalina.


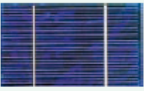
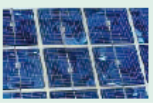
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura 11. Características de los módulos fotovoltaicos según la tecnología de fabricación.

La potencia que nos da una célula solar de tamaño estándar (10x10cm) está en torno a 1 o 2W, por lo que tendremos que asociarlas para llegar a conseguir la potencia requerida por la instalación. Según la conexión eléctrica de las células tenemos dos posibilidades: **conexión en serie**, que permitirá aumentar la tensión final, o **conexión en paralelo**, que aumentará la intensidad del conjunto.

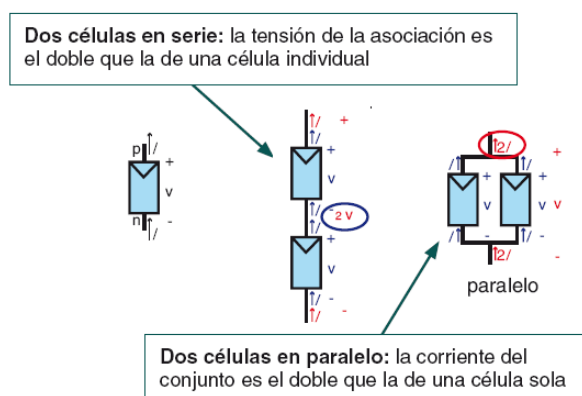


Figura 12. Asociación de células solares.

Los paneles más utilizados están formados por 40-80 células conectadas en serie y que tienen una superficie de entre 0,8 y 2m².

Dentro de las características eléctricas del módulo podemos destacar:

- **Potencia máxima de salida**

Es la característica más importante del panel fotovoltaico.

Se precisa potencias de salida de unos 30W, inferiores a este valor el coste sería mayor ya que se necesitarían más paneles.

- **Curvas I-V**

Hay que fijarse siempre en la curva I-V que facilita cada fabricante y en la influencia que tiene la temperatura en la corriente y tensión de cada módulo.

El aumento de dicha temperatura hace aumentar ligeramente la corriente y disminuye notablemente la tensión de salida del módulo.

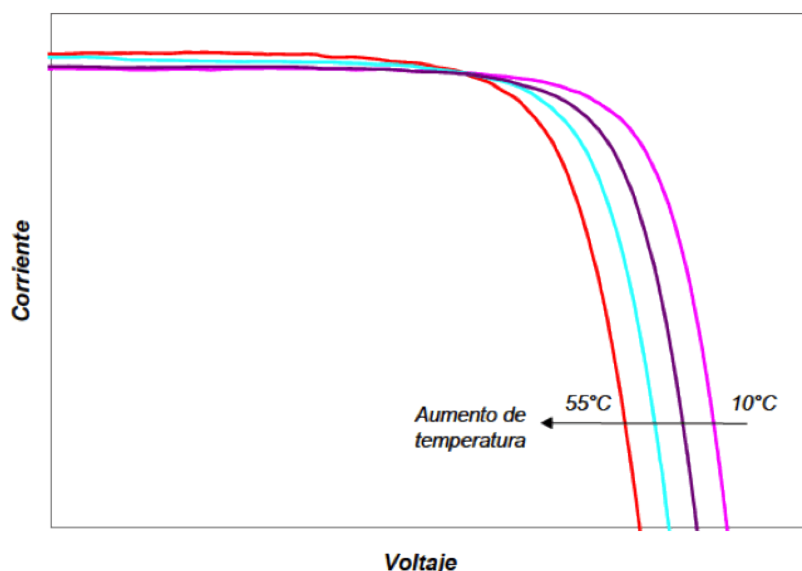


Figura 13. Curva I-V de un módulo fotovoltaico.

En la gráfica, observamos que el valor máximo para el voltaje de salida corresponde a un valor de corriente nulo (voltaje a circuito abierto), mientras que el valor máximo para la corriente corresponde a un voltaje de salida nulo (cortocircuito).

- **Intensidad**

La intensidad se ve más afectada por la radiación que el voltaje, para unas condiciones de temperatura constante. Por esta razón, tiene mucha trascendencia la orientación e inclinación de los paneles respecto a la horizontal.

- **Efecto de la temperatura**

Al aumentar la temperatura de las células, aumenta moderadamente la corriente pero disminuye considerablemente la tensión, lo que conlleva que la corriente de

cortocircuito y el voltaje a circuito abierto se vean afectados por la temperatura de trabajo. Es fundamental situar los módulos en zonas bien ventiladas.

- **Temperatura de trabajo del panel**

$$T_t = T_a + k * R$$

Donde:

T_t es la temperatura de trabajo del panel

T_a es la máxima temperatura ambiente

R es el valor de la radiación solar en W/m^2 , varía entre 800 y 1000 W/m^2

k es un coeficiente que varía entre 0,02 y 0,04 $^{\circ}Cm^2/W$, dependiendo de la velocidad del viento

Cuando dicha temperatura es muy baja, el enfriamiento del panel es nulo y k toma valores cercanos al máximo. Si la velocidad del viento ocasiona un enfriamiento efectivo del módulo, k será el mínimo.

En lugares con mucha insolación, R toma el máximo valor; en cambio, para nubes que reducen el valor de irradiación, R disminuye a 800 W/m^2 .

- **Máxima potencia de salida**

La potencia de salida es nula para circuito abierto y cortocircuito, ya que la corriente o la tensión de salida es nula. Si cortocircuitamos la salida de un módulo fotovoltaico no sufre daño.

El valor máximo para una temperatura de 25 $^{\circ}C$ se denomina “valor pico del panel (P_p)”. Podemos calcularlo con los valores estándar de radiación solar 1000 W/m^2 , temperatura 25 $^{\circ}C$ y espectro luminoso 1,5 de masa de aire.

Sabiendo la temperatura de trabajo, calculamos la potencia de salida mediante la siguiente expresión:

$$P_t = P_p - (P_p * \delta * \Delta T)$$

Donde:

P_t es la potencia de salida a la temperatura de trabajo

P_p es la potencia de pico del panel a 25 $^{\circ}C$

δ es el coeficiente de degradación

ΔT es el incremento de temperatura, $\Delta T = T_t - 25^{\circ}C$

- **Factor de degradación**

Cuando la temperatura de trabajo aumenta, la potencia de salida del panel disminuye. Hay que tener en cuenta la degradación del panel, ya que la temperatura de trabajo siempre va a superar los 25 $^{\circ}C$ y la potencia de salida nunca va a lograr el valor pico. El cálculo de este factor es complicado y cada fabricante lo incluye en las especificaciones técnicas del panel.

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos es la que mantiene los módulos en la intemperie. Pueden ser de dos tipos: fijas o móviles.

- **Fijas**

Al diseñar este tipo de estructuras hay que certificar que los módulos estén situados de modo óptimo para maximizar la generación de energía eléctrica a lo largo de todo el año en lo referente a orientación, inclinación y ausencia de sombras.

La orientación ideal es Sur en el Hemisferio Norte y Norte en el Hemisferio Sur.

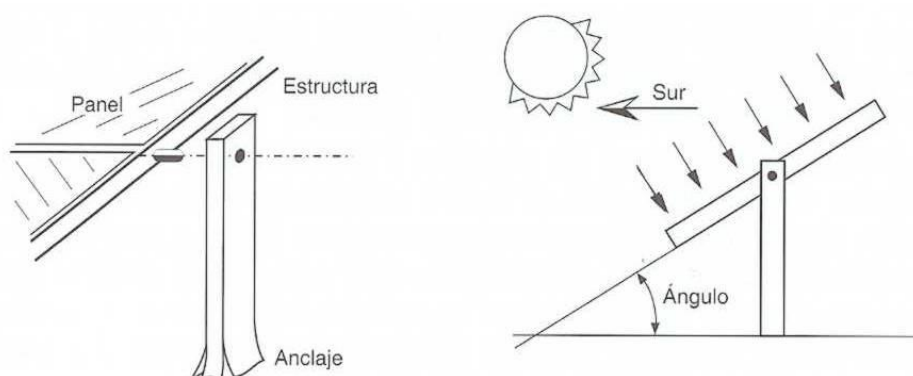


Figura 14. Estructura fija.

- **Móviles o con seguimiento solar**

Los módulos se colocan sobre un componente móvil, para que se ubiquen en la mejor posición con su superficie perpendicular a los rayos del sol y recibir la máxima irradiación, lo que conlleva a aumentar la producción eléctrica.

En estos sistemas se puede conseguir hasta un 40% más de producción eléctrica que en los sistemas fijos.



Figura 15. Estructura móvil.

En España, podemos destacar como fabricantes y/o comercializadores más importantes de paneles fotovoltaicos ATERSA, SUNPOWER y SOLARWORLD, entre otros muchos.

2.2.2. Regulador

Es el dispositivo que se encarga de controlar la carga y descarga de las baterías, y de evitar cargas o descargas excesivas para alargar su vida útil. Es el nexo de unión entre los paneles fotovoltaicos, la batería y el resto de elementos de la instalación. Trabaja tanto en la zona de carga como en la de descarga. En la de carga, garantiza una carga suficiente en las baterías y así evitar sobrecargas, y en la de descarga, garantiza el suministro eléctrico y evita la sobredescarga de las baterías.

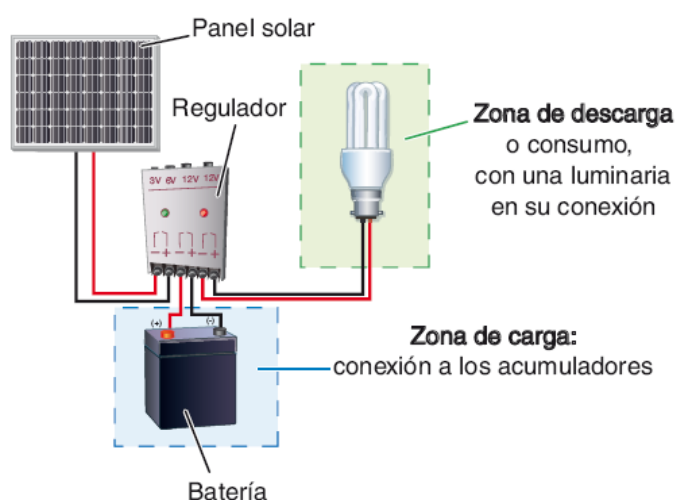


Figura 16. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.

Puede verse como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y batería para el proceso de carga y abierto cuando la batería está totalmente cargada.

Por la noche, el voltaje de salida de los módulos fotovoltaicos es nulo. Al amanecer, atardecer o días nublados, la insolación es baja y los módulos no pueden cargar las baterías. Cuando la insolación aumenta, el voltaje de los módulos supera al de las baterías y se reanuda la carga; debido a que los módulos tienen una tensión nominal mayor a la de las baterías podrían producirse sobrecargas y para evitarlo existe el regulador.

Hay que tener en cuenta los picos de irradiancia y los cambios de temperatura, y es aconsejable escoger un regulador un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito (I_{entrada}) o a la que consume la carga (I_{salida}).

Existen dos tipos de reguladores de carga según la posición del interruptor de control de la generación:

- **Reguladores de carga en serie.**
- **Reguladores de carga en paralelo.**

Los reguladores en serie se utilizan para carga grande y en paralelo para carga pequeña.

Diferencias entre regulador de carga en serie y en paralelo:

- El regulador en paralelo evita cambios en la corriente.
- La energía que se disipa en forma de calor, aumenta proporcionalmente con la carga en el caso de regulador en serie y disminuye al aumentar la carga en el regulador en paralelo.
- El regulador en paralelo tiene una resistencia más (R_S), para evitar que se rompa el regulador y disipar calor, esto hace que la potencia que entrega sea más grande.
- El regulador en serie tiene mayor rendimiento.

Cada fabricante debe indicar en su catálogo si la regulación es en serie o paralelo, el tipo de batería que se puede conectar al regulador, las alarmas que saltan ante un mal funcionamiento y las protecciones que lleva dicho regulador.

2.2.3. Baterías

Se encargan de acumular la energía eléctrica del sistema de generación fotovoltaico para utilizarla en las horas del día que no luzca el sol o en los días nublados.

Se recargan desde la electricidad que producen los paneles, a través del regulador de carga, y entregan su energía al resto de la instalación para su consumo.

En las instalaciones fotovoltaicas la batería tiene tres funciones:

- Almacenar energía durante días.
- Dar una alta potencia instantánea.
- Asignar la tensión con la que opera la instalación.

La característica más importante de las baterías es su **capacidad**, es decir, la cantidad de electricidad que puede obtenerse en una descarga completa partiendo de un estado de carga total. Sus unidades son amperios hora (Ah) y podemos calcularlo como el producto de la intensidad de descarga durante el tiempo en el que actúa:

$$C = tI$$

Hay diferentes tipos de baterías en función de los componentes que se usen en su fabricación:

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Figura 17. Principales tipos de baterías.

Las más recomendadas para este tipo de instalaciones son las estacionarias de **Plomo-ácido**, con vasos de 2V, los cuales se conectarán en serie y/o paralelo hasta llegar a los 12, 24 o 48V.

Los modelos de 6 y 12V nominales son los más aceptados. La batería de 6V con una capacidad de 200Ah se utiliza en sistemas con pequeña capacidad de reserva. La de 12V se usa en sistemas de bajo consumo.

Es conveniente utilizar baterías de más de 250Ah para alto consumo.

Este tipo de baterías pueden permanecer largos periodos de tiempo cargadas y soportar descargas profundas.

En instalaciones fotovoltaicas, no es recomendable tener descargas agresivas, por lo que se utilizan baterías con descarga de 100 horas, ya que cuanto más fuerte es la descarga de una batería menos energía podrá proporcionar.

También hay **baterías de Ni-Cd**, las cuales son más costosas, de 6 a 8 veces comparado con las de Plomo-ácido.

El costo a largo plazo es mucho menor ya que tienen una vida útil más larga (más del doble de la de Pb-ácido) y un menor mantenimiento.

Usan placas de acero inoxidable, soportan cargas y descargas excesivas sin daño alguno, tienen mayor eficiencia y soportan una alta mezcla entre temperatura y humedad, lo que las hace ideales para climas tropicales.

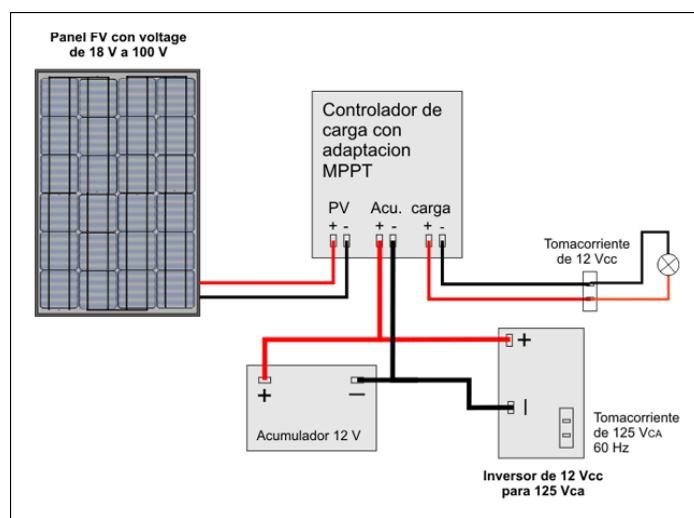


Figura 18. Sistema fotovoltaico con batería de 12V.

2.2.4. Inversor u Ondulador

El inversor es el encargado de convertir la energía en corriente continua de la instalación que se genera en el panel fotovoltaico en corriente alterna para poder formar su propia red de distribución interior a 220V de valor eficaz y frecuencia de 50Hz.

Es un componente indispensable en los sistemas conectados a la red y estará presente en la mayoría de los sistemas autónomos o aislados.

En el caso de sistemas autónomos, el inversor se encargará de otorgar una corriente alterna como la de la red eléctrica, para así conectar a la misma los electrodomésticos que se vayan a utilizar; mientras que en el caso de sistemas conectados a la red, debe suministrar una corriente alterna que tenga las mismas características que la red eléctrica a la que esté conectado, tanto en valor eficaz de la tensión (220V) como en frecuencia (50Hz).

Los inversores conectados directamente al módulo fotovoltaico deberán disponer de un buscador del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking, MPPT), que ajusta ininterrumpidamente la impedancia de carga para que dicho inversor pueda sacar la máxima potencia de la instalación.

Hay dos tipos de inversores:

- **Inversores conmutados de línea**, usan interruptores basados en tiristores, que son dispositivos electrónicos de potencia que pueden controlar el tiempo de activación de la conducción, pero no el tiempo de parada.
- **Inversores autoconmutados**, usan dispositivos de conmutación que controlan libremente los estados de conducción y no conducción del interruptor.

Los primeros inversores que se comercializaron para instalaciones fotovoltaicas de conexión a red fueron inversores conmutados de línea.

Después, se utilizaron inversores autoconmutados, que controlan libremente la forma de onda de la tensión y corriente en la parte de alterna, permiten ajustar el factor de potencia y reducir los armónicos, y son muy resistentes a las distorsiones procedentes de la red. Gracias a todas estas ventajas, actualmente se usan inversores autoconmutados en fotovoltaica.

A la hora de dimensionar el inversor, hay que tener en cuenta la potencia que demandan todas las cargas de corriente alterna, de manera que se elegirá un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por dichas cargas.

Las principales funciones de un inversor de conexión a red son:

- Convertir la corriente continua de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para que sea inyectada a la red.
- Ajustar el punto de funcionamiento del campo solar.
- Proteger y avisar de fallos eléctricos.
- Ayudar a la estabilidad de la red.

- Smart grid, gestionar cargas y almacenamiento.

Como características principales de un inversor CC-CA podemos destacar:

- Alta eficiencia, debe funcionar para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.
- Buena regulación de tensión y frecuencia.

Existen inversores que pueden funcionar también como reguladores de carga de las baterías, con lo cual nos ahorraríamos el regulador en nuestra instalación fotovoltaica.

En España, como fabricantes más destacados tenemos FRONIUS, KOSTAL, SMA e INGLETEAM, entre otros muchos.

2.2.5. Cables y conexionado

Es el componente imprescindible para que se produzca el transporte de la energía eléctrica entre los diferentes elementos del sistema fotovoltaico.

Parte de esta energía siempre se va a perder ya que la resistencia eléctrica de un conductor nunca es nula.

Como material para la fabricación de un cable conductor, hoy día, el más indicado es el **cobre**. Es idóneo por su coste y por su valor bajo de resistividad.

En ocasiones, suele emplearse aluminio porque es más ligero que el cobre, pero su conductividad eléctrica es 60% mayor.

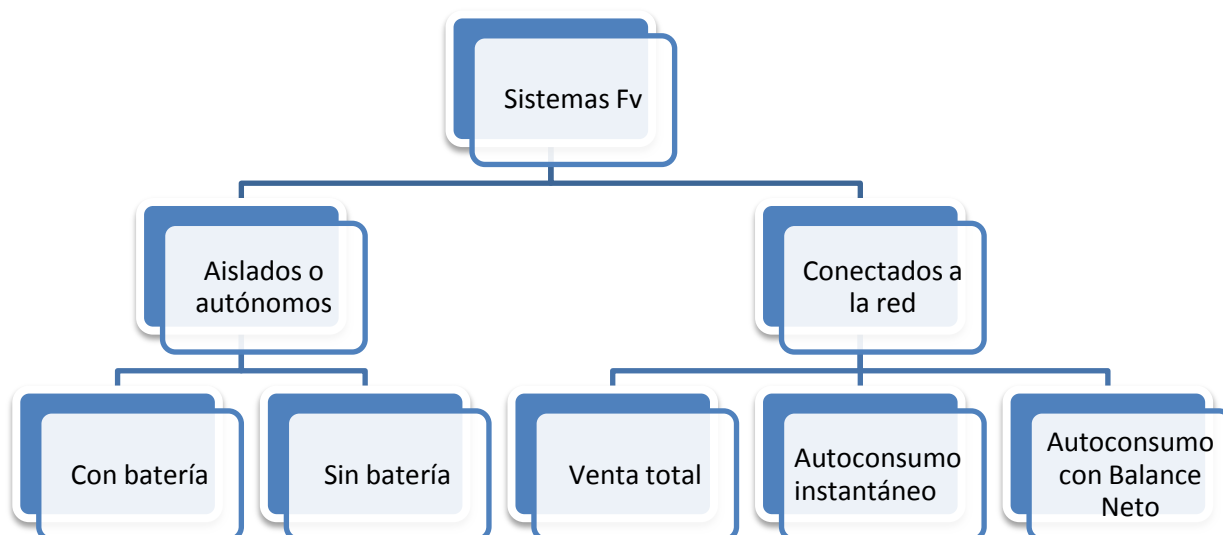
Al diseñar el cableado, hay que tener en cuenta las caídas de tensión que se producen en los conductores. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, los conductores de la zona de corriente continua tienen que tener una sección lo suficiente grande para que la caída de tensión sea inferior al 1,5%, y en los de la zona de corriente alterna inferior al 0,5%.

A la hora de definir la sección del conductor, hay que respetar tres criterios que establece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT):

- Criterio térmico: debe ser capaz de disipar el calor generado a causa de la intensidad que circula por el conductor.
- Criterio caída de tensión: debe ser menor que la establecida en las condiciones de fabricación.
- Criterio intensidad de cortocircuito: la temperatura que alcanza el conductor durante un cortocircuito no debe exceder la máxima admisible de corta duración (<5s) del aislante del conductor.

Todo el cableado de corriente continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado.

2.3. Sistemas fotovoltaicos: configuraciones



Los sistemas fotovoltaicos, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos grandes categorías: **sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos** y **sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica**.

2.3.1. Sistemas autónomos o aislados (stand alone)

Los sistemas aislados se usan para suministrar electricidad a los usuarios con consumos bajos de energía, para los que no compensa pagar el coste de conectarse a la red y para los que tienen dificultad de conexión ya que tienen un acceso complicado. Podemos decir que resulta conveniente instalar un sistema fotovoltaico autónomo que esté a más de 3 km de la red eléctrica para alimentar una vivienda.

Los **principales componentes** que forman un sistema fotovoltaico aislado son: **módulos fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y baterías.**

En los sistemas fotovoltaicos aislados, al no estar conectados a la red eléctrica, es necesario acumular la energía eléctrica para garantizar la continuidad del suministro. El generador fotovoltaico proporcionará energía en las horas diurnas, pero la mayor demanda se produce en las horas de la tarde y noche. Esa energía es almacenada en una serie de acumuladores recargables o baterías, que se dimensionan de tal forma que garanticen suficiente autonomía para las fases en las que el sistema fotovoltaico no produce electricidad. Normalmente, la potencia demandada por el usuario es inferior a la radiación, por lo se almacena en las baterías para usarse cuando sea necesario.

Las baterías que se utilizan tienen que cumplir una serie de requisitos:

- Bajo valor de autodescarga.
- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento.
- Elevado número de ciclos carga-descarga.

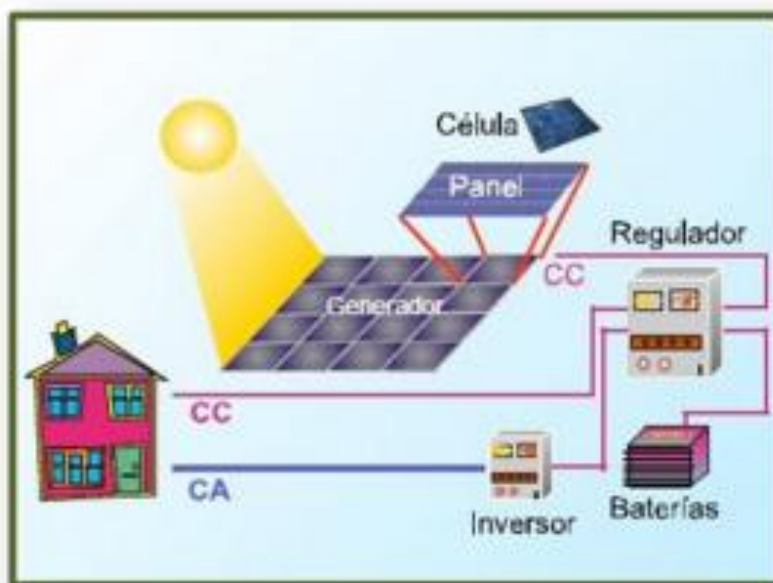


Figura 19. Esquema de un sistema fotovoltaico aislado de la red.

El regulador de carga, del cual ya hablamos anteriormente, protege las baterías de un exceso de carga del generador fotovoltaico y de un exceso de descarga debido a la utilización.

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para alimentar directamente a los consumos. En este tipo de sistemas, el inversor no es un elemento primordial, ya que es posible alimentar las cargas directamente con corriente continua de baja tensión.

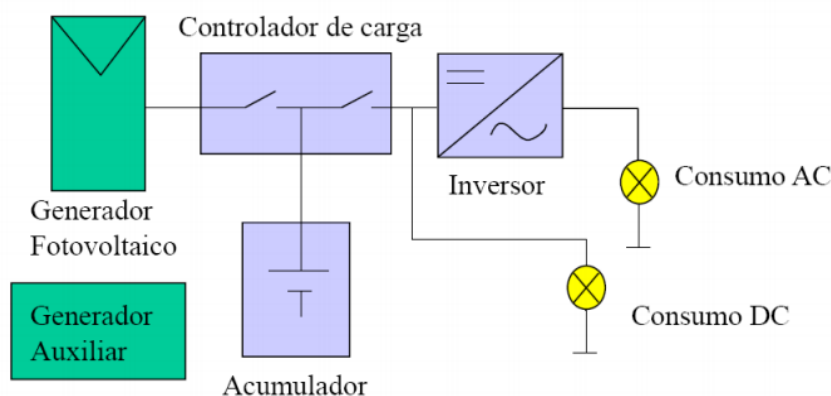


Figura 20. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

Los sistemas fotovoltaicos aislados se usan en electrificación rural y casas de campo, zonas de caravanas y casas de vacaciones, granjas, aplicaciones agrícolas y ganaderas, bombeo de agua, telecomunicaciones, sistemas de iluminación, señalización y alarma, etc.

Podemos distinguir dos grupos dentro de los sistemas fotovoltaicos aislados: **aislados con acumulación o baterías, y aislados sin baterías**. Como sistema aislado sin acumulación tenemos el bombeo solar.

Los **sistemas híbridos** son un tipo de sistemas aislados, con o sin acumulación. Un sistema híbrido es la combinación de dos o más fuentes de alimentación que al juntarlas componen un sistema, cuyo objetivo es lograr la máxima eficiencia de cada tecnología para reducir el consumo de energía fósil y de emisiones contaminantes, y conseguir hacer a la instalación lo más rentable posible.

Los sistemas de generación con energías renovables se pueden asociar con un generador diesel, para así incrementar su fiabilidad y reducir los costes del sistema. Hay diferentes configuraciones dentro de la hibridación fotovoltaica, donde la **fotovoltaica + diesel** es una de las más usuales, con o sin almacenamiento.

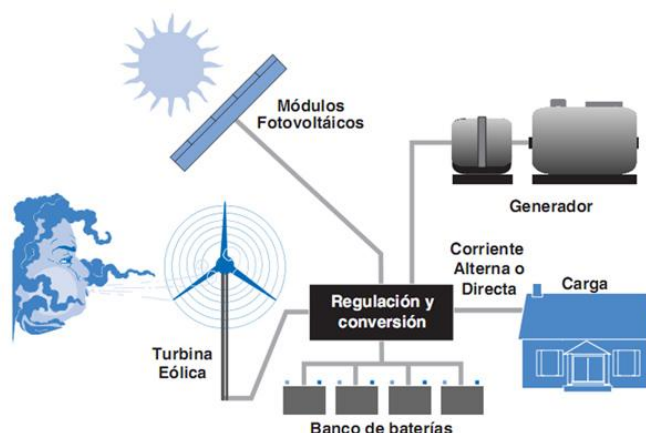


Figura 21. Esquema de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel.

El inversor es un elemento muy importante en los sistemas híbridos, ya que pone en marcha el generador cuando los paneles fotovoltaicos no suministran la suficiente energía o si las baterías están descargadas y en dicho momento los paneles no están cargando, como es el caso de por la noche.

Hay cinco razones para optar por una hibridación fotovoltaica:

- Precio del Gasóleo

El precio del diesel industrial se ha elevado alrededor de un 100 % en los últimos años.

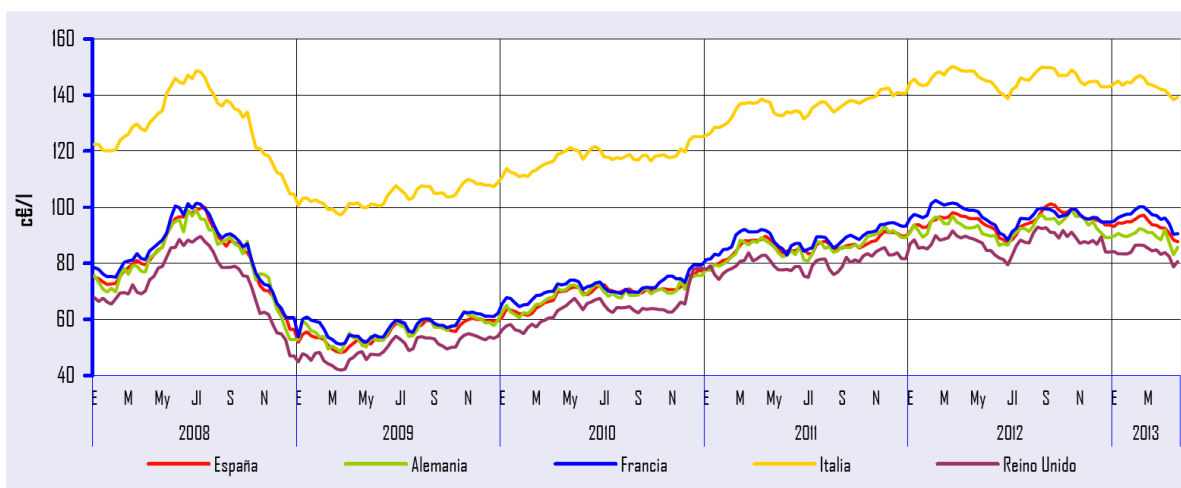


Figura 22. Evolución del precio (c€/l) del gasóleo industrial.

- **Precio del kWh**

El precio del kWh de la electricidad se ha elevado bastante en los últimos años.

- **Nivel de acceso a la electricidad**

- **Radiación solar**

Es un factor muy importante si queremos plantearnos una hibridación fotovoltaica.

- **Coste de los módulos fotovoltaicos e inversores**

El coste de los sistemas fotovoltaicos ha decrecido alrededor del 80% en los últimos años. Los módulos fotovoltaicos son los elementos que más han disminuido su precio.

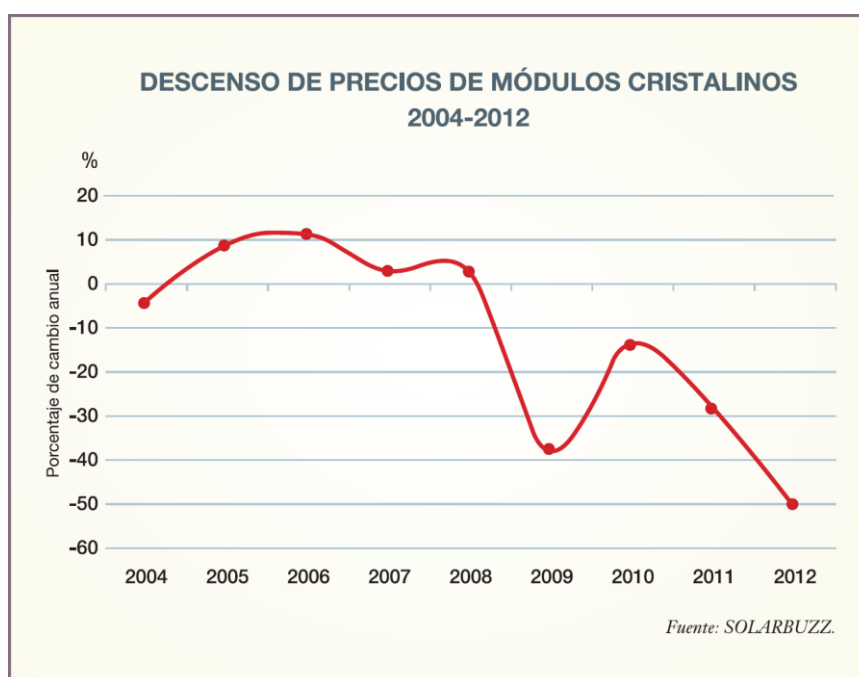


Figura 23. Evolución del coste de los módulos fotovoltaicos.

Como hemos indicado anteriormente, el objetivo de la hibridación es la disminución de costes, por lo que tenemos que tener muy en cuenta la mejora de las envolventes, la eficacia energética de los consumos, la gestión de cargas, el mejor dimensionamiento económico y técnico posible y el autoconsumo instantáneo.

Para definir una instalación híbrida fotovoltaica necesitamos tres parámetros: precio del diesel, precio de la electricidad e insolación del lugar donde se planea instalarla.

El sistema tiene una serie de riesgos que deben ser evitados para no dañar al generador diesel. En primer lugar, hay que evitar que la corriente del inversor, que tiene prioridad, dañe al generador diesel; y en segundo lugar, aportar potencia de respaldo, que permite mayor introducción de generación fotovoltaica e incrementa notablemente el ratio de

autoconsumo de energía fotovoltaica, por lo que se obtienen mayores ahorros en el consumo de combustible.

Los sistemas híbridos al incluir varias fuentes de generación de energía, son más fiables que los sistemas que constan de una sola fuente de alimentación y en algunos casos más económicos y menos contaminantes.

El generador diesel, a pesar de ser una fuente no renovable, nos da una gran autonomía, lo que reduce el tamaño de las baterías. Además, se produce una reducción del coste total de la energía, siempre que el generador esté en marcha pocas horas al año y teniendo en cuenta que el precio del gasoil no suba mucho; y una reducción de las emisiones contaminantes, debido a que la fabricación, montaje y transporte de los paneles, baterías y otros componentes generan emisiones que son contaminantes para el medio ambiente.

Estos sistemas son ideales para cualquier instalación, excepto en casos de consumo muy bajo. Se están utilizando mucho en países en vías de desarrollo, para hacerles llegar electricidad a sus hogares, talleres, escuelas y centros médicos, lo que potencia el desarrollo económico y social de la localidad.

2.3.2. Sistemas conectados a la red de distribución (grid connected)

Los **sistemas conectados a la red**, como su propio nombre indica, son sistemas que están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional.

En las horas en que hay poca radiación o ninguna, cuando el módulo fotovoltaico no da suficiente energía con la que cubrir la demanda de electricidad, la red es la que suministra la energía que se necesita. Pero si en las horas de irradiación solar el sistema suministra más energía de la que se consume, ese exceso se vierte a la red.

Este tipo de sistemas, normalmente no cuenta con sistemas de acumulación o baterías, puesto que la energía que no se consume es vertida a la red.

La red eléctrica funciona como un acumulador de capacidad indefinida y el usuario que se encuentra conectado a dicha red simboliza la carga.

Si analizamos la continuidad del suministro, los sistemas conectados a la red son más fiables que los sistemas autónomos, ya que si se produce un daño o inconveniente podemos alimentar desde la red.

Los **principales componentes** que tiene un sistema fotovoltaico conectado a red son: **paneles fotovoltaicos, inversor, contador de energía bidireccional y protecciones.**

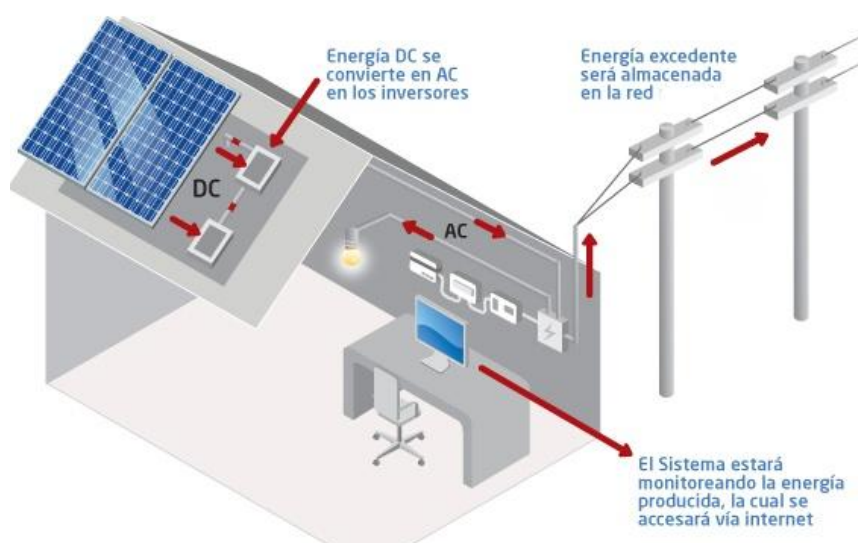


Figura 24. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.

En estos sistemas, el inversor sí es un elemento fundamental. Es uno de los componentes más importantes, ya que tiene la misión de convertir la corriente continua producida en los módulos fotovoltaicos (12V, 24V, 48V,...) en energía de corriente alterna (220V) para alimentar los consumos o inyectarla en la red.

Los inversores que se usan en los sistemas conectados a la red, están dotados con un mecanismo o dispositivo de intercambio, que sigue el punto de máxima potencia (MPPT) para sacar la máxima potencia de los paneles fotovoltaicos, ajusta las características de producción a las exigencias de la carga, y hace posible que la energía que se inyecta en la red posea todas las características exigidas por dicha red.

El contador de energía es el encargado de contabilizar la energía eléctrica en forma de corriente alterna que desde el inversor se inyecta en la red.

Si el sistema fotovoltaico está produciendo más energía de la que se está consumiendo en la vivienda, el sobrante se vierte a la red local de energía eléctrica de manera que el contador gira de forma inversa, para lo cual hay que hacer un contrato con el distribuidor local de energía para que inspeccione la instalación de los módulos fotovoltaicos y la del medidor bidireccional. En cambio, cuando no hay radiación solar como es el caso de las noches o días nublados, se consume energía de la red y el contador, en este caso, gira de forma directa.

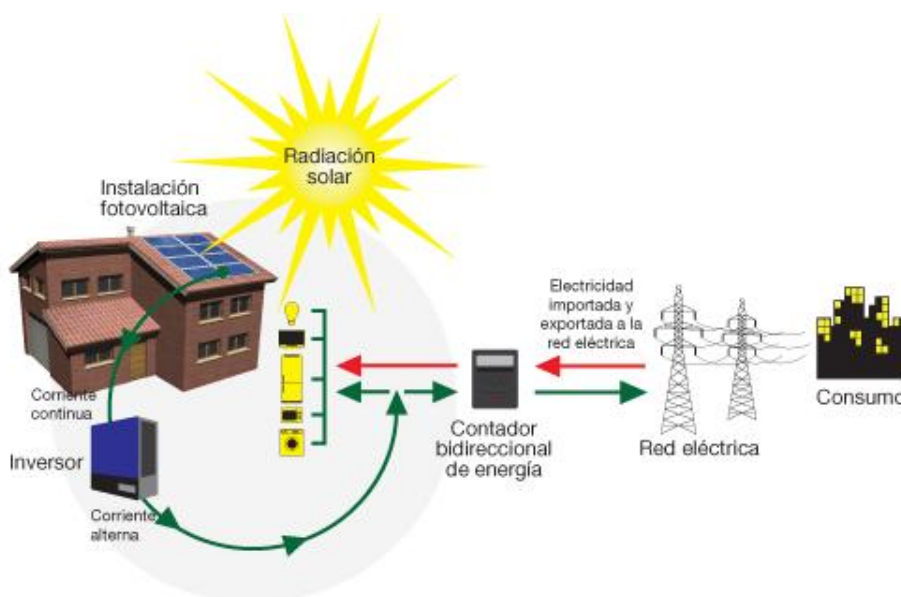


Figura 25. Sistema fotovoltaico con contador bidireccional de energía.

Estos sistemas tienen la misión de inyectar en la red la mayor cantidad de energía posible, por lo que es indispensable conectar con las redes de distribución, cumplir las condiciones de la compañía eléctrica y poner un mecanismo de medida para que el usuario pueda facturar la producción de la instalación.

Gracias a las mediciones realizadas por el contador de energía y a los precios que establecen las Autoridades, se puede vender la energía que se produce en exceso a la red eléctrica y tomar energía de dicha red cuando la que se produce en los paneles fotovoltaicos no abastece la instalación.

Este tipo de instalaciones fotovoltaicas abarca instalaciones pequeñas de entre 1 y 5 kWp en tejados o terrazas, instalaciones más grandes de hasta 100 kWp sobre suelo o cubiertas, hasta plantas de varios megavatios.

Es la configuración más frecuente en zonas urbanas, debido a que es muy silenciosa, no tiene partes móviles y para garantizar la correcta penetración de los rayos de sol solo hay que limpiar ocasionalmente los módulos solares, por lo que tiene un mantenimiento mínimo.

Podemos distinguir tres grupos dentro de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: **venta total, autoconsumo instantáneo y autoconsumo con balance neto**. Los tipos de autoconsumo los trataremos en el capítulo siguiente.

2.4. Mantenimiento de un sistema fotovoltaico

Deberá realizarse un plan de mantenimiento adecuado en el sistema fotovoltaico para garantizar el correcto funcionamiento y la explotación óptima del sistema, tal y como se indica en el Pliego de Condiciones del IDAE. Con dicho plan además, aumentaremos la eficiencia y la vida útil de la instalación.

Dentro del plan se deberán realizar dos tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento preventivo.**

Consiste en inspeccionar visualmente la instalación solar y verificar que los distintos equipos como paneles solares, inversores, protecciones y cableado general, presentan un aspecto óptimo y funcionan correctamente.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, si el sistema tiene una potencia inferior a 5kWp, hay que realizar como mínimo una visita al año; mientras que si la instalación fotovoltaica es de potencia superior, la visita se hará cada seis meses.

- **Mantenimiento correctivo.**

Este tipo de mantenimiento abarca todas las operaciones de sustitución que garantizan el correcto funcionamiento del sistema durante su vida útil.

2.4.1. Mantenimiento de sistemas aislados

Se seguirá un mantenimiento cuyos objetivos serán asegurar el funcionamiento, aumentar la producción y prolongar la vida útil del sistema.

Tenemos dos tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento preventivo**

Hay que hacer una revisión anual como mínimo, en la que se incluya el mantenimiento de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico. En este mantenimiento habrá que incluir: operaciones de inspección visual, comprobación de actuaciones, y otras operaciones para mantener las condiciones de funcionamiento dentro de unos límites aceptables.

En el caso de sistemas aislados, se basa en inspección visual del funcionamiento de los equipos, en la que:

- Posibilita la detección de un deterioro prematuro de los elementos del sistema debido a causas climatológicas como son la temperatura, la radiación UV, la lluvia o el granizo.
- En el caso de las baterías, la inspección visual debe determinar si hay pérdidas de electrolito. Una vez al mes, hay que medir la densidad del electrolito.

A modo de resumen, dicha visita deberá:

- Comprobar el correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema.
- Revisar el cableado y las conexiones.
- Revisar el estado de los paneles fotovoltaicos, incluyendo limpieza y presencia de sombras.
- Comprobar la estructura soporte.
- Verificar el estado de las baterías.
- Inspeccionar las caídas de tensión entre terminales del regulador de carga.
- Comprobar el inversor, sobre todo las alarmas.
- Revisar las caídas de tensión en el cableado.
- Verificación de los elementos de seguridad y protecciones, como son las tomas de tierra, los interruptores de seguridad y fusibles.

- **Mantenimiento correctivo**

Este mantenimiento relacionará todas las operaciones de sustitución necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

- Se hará una visita a la instalación: 48 horas, si la instalación no funciona; una semana, si el fallo no afecta al funcionamiento; y cada vez que el usuario lo requiera por avería grave en la instalación
- Los costes económicos de este mantenimiento forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento.
- Dichas operaciones de mantenimiento se deberán recoger en un libro de mantenimiento.

2.4.2. Mantenimiento de sistemas conectados a la red

Con este tipo de mantenimiento se busca asegurar el funcionamiento, aumentar la producción y prolongar la duración del sistema.

Al igual que en el caso de sistemas aislados, tenemos dos tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento preventivo**

En este plan de mantenimiento debe contener operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras operaciones para mantener las condiciones de funcionamiento dentro de límites aceptables, al igual que para sistemas aislados.

Incluirá al menos una visita anual para el caso de instalaciones de menos de 5kWp, y semestral para el resto.

Dentro de dicho mantenimiento, como mínimo, habrá que:

- Comprobar de las protecciones eléctricas.
- Verificar el estado de los paneles fotovoltaicos, como es el estado de las conexiones y la orientación de dichos paneles.
- Comprobar el estado del inversor, como es su funcionamiento y las alarmas.
- Verificar el cableado, incluyendo los cables de tomas de tierra y reapriete de bornas.
- Realización de un informe técnico en el que figure el estado de la instalación y las incidencias ocurridas.
- Anotar las operaciones en un libro de mantenimiento, en el que estará identificado el personal de mantenimiento.

- **Mantenimiento correctivo**

Realización de todas las operaciones de sustitución necesarias para asegurar que el sistema funciona correctamente durante su vida útil.

- Visita a la instalación en los periodos convenientes y en caso de avería grave.
- Análisis y presupuesto de las operaciones y restituciones necesarias.
- Los costes económicos se incluirán en el precio anual del contrato de mantenimiento.

Capítulo 3. Sistemas de Autoconsumo: configuraciones

3.1. ¿Qué es el autoconsumo?

Hoy día, la factura eléctrica ha pasado a ser un importante gasto en nuestros hogares y empresas. Para solucionarlo, podemos optar por el autoabastecimiento, ya que la ley actual permite consumir la energía eléctrica que producimos nosotros mismos.

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS kWh

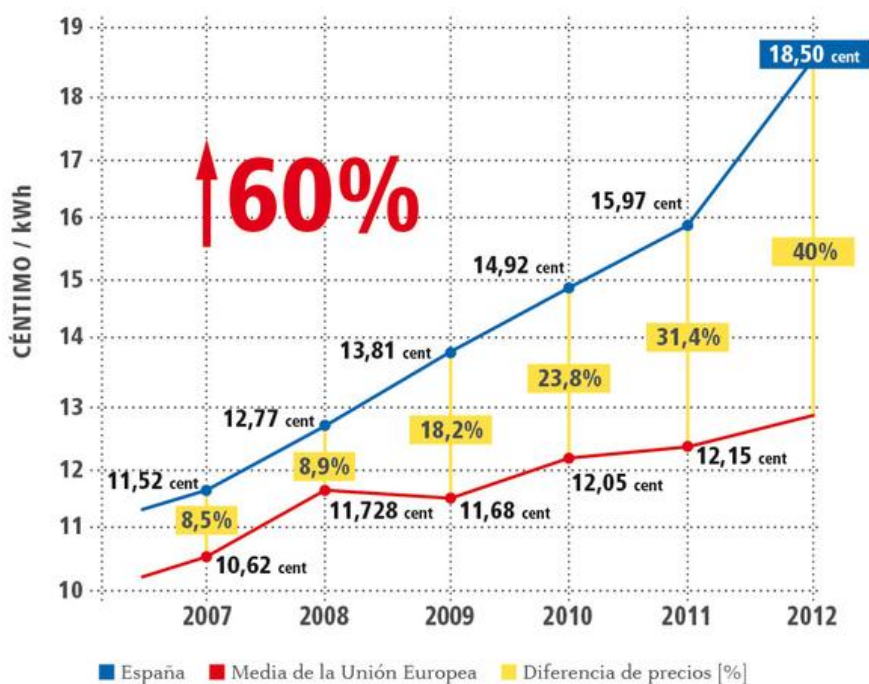


Figura 26. Evolución de los precios en kWh.

El **autoconsumo** consiste en emplear la energía generada en los módulos fotovoltaicos para reducir el consumo de electricidad, es decir, generar energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos para **consumo propio**. Producimos energía en nuestro propio hogar, lo que nos hace pasar de ser consumidores pasivos a productores de energía.

El autoconsumo posibilita a los usuarios suministrar su propia electricidad y administrar el sistema a través de un intercambio de energía con la compañía eléctrica, llamado **Medición Neta (Net Metering) o Balance Neto**. En el balance neto, los consumidores

pueden contrarrestar la energía que consumen menos la inyectada a la red, lo que produce un balance entre la producción y el consumo en su factura. El usuario siempre estará interconectado con la red eléctrica para inyectar el sobrante de energía que genera y consumir cuando su demanda sea insuficiente para abastecer los consumos.

La producción de energía de pequeña potencia en los hogares aproxima los puntos de producción a los lugares de consumo, lo cual ayuda a una liberación de la actividad de generación eléctrica y posibilita el progreso del nuevo modelo energético a nivel mundial denominado Generación Distribuida.

La principal singularidad del autoconsumo, como hemos indicado anteriormente, es que el exceso de energía se vierte a la red en los instantes en los que hay más generación que consumo y se podría vender al precio del mercado eléctrico o pool, lo que hoy día no resulta económicamente atractivo ya que el precio de venta a mercado es de 0,055€/kWh y el precio del término de energía en nuestras facturas es superior a 0,14€/kWh.

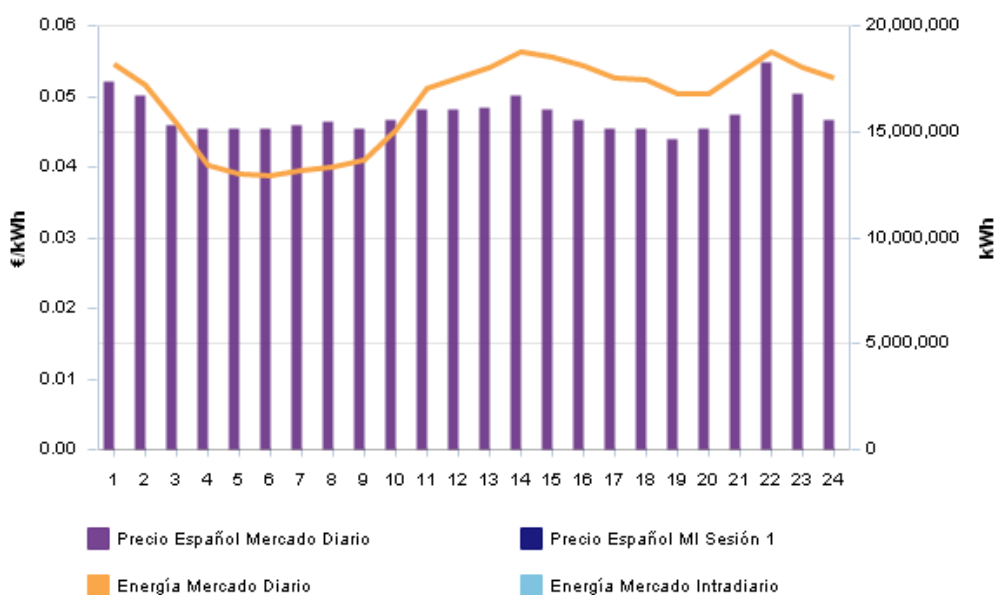


Figura 27. Precios y energías del mercado eléctrico español a 10/05/2014.

Los usuarios más beneficiados del autoconsumo son los consumidores comerciales como centros comerciales, restaurantes y hoteles, o los industriales como talleres o fábricas.

Para el caso de una instalación solar fotovoltaica sobre el tejado de un chalé unifamiliar operando únicamente en horas diurnas, la energía sobrante se vierte a la red, lo que ocasiona un saldo energético deudor de la compañía distribuidora hacia la familia, que podrá consumirlo durante la noche.

3.2. Componentes de un sistema de autoconsumo fotovoltaico

Los componentes de un sistema de autoconsumo fotovoltaico son los mismos que ya tratamos anteriormente en los sistemas fotovoltaicos, ya que un sistema de autoconsumo no deja de ser un sistema fotovoltaico.

Un sistema de **autoconsumo fotovoltaico de conexión a red** está compuesto por módulos fotovoltaicos y un inversor.

Los **paneles fotovoltaicos** están formados por un grupo células solares que producen electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre ellas.

El **inversor** se encarga de convertir la energía en forma de corriente continua que se genera en los paneles en corriente alterna.

Aparte de estos componentes, los sistemas de autoconsumo pueden incorporar otros elementos como son:

- Una estructura o sujeción para los paneles fotovoltaicos.
- Baterías o sistemas de acumulación para almacenar la energía, los cuales son imprescindibles en el caso de sistemas de autoconsumo aislados, pero no en los de autoconsumo con conexión a la red.
- Reguladores de carga para controlar las baterías.

En el caso del **autoconsumo instantáneo**, un componente primordial es el **gestor energético**. Es una figura asociada al ahorro y a la utilización racional de la energía eléctrica.

El gestor energético debe optimizar los consumos de energía de las instalaciones y debe establecer unas pautas para que los usuarios hagan un uso racional de dicha energía.

El gestor energético o control dinámico de potencia (CDP) tiene que ajustar la potencia de producción de los inversores, de tal manera que regule el nivel de generación del inversor en función del consumo del usuario. Adecua la generación al consumo de energía para así asegurar que la inyección a la red sea nula.

Además, tiene que:

- Fijar los límites de funcionamiento de los equipos existentes en las viviendas, para así reducir el consumo de energía y reducir las emisiones de CO₂.
- Adecuar los sistemas de iluminación a la ocupación real de cada vivienda para evitar derrochar energía innecesariamente.
- Realizar informes anuales de los consumos de electricidad de cada vivienda, para así mejorar los puntos débiles y lograr el mayor ahorro energético.

Debe cumplir el RD 1699/2011 y la ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

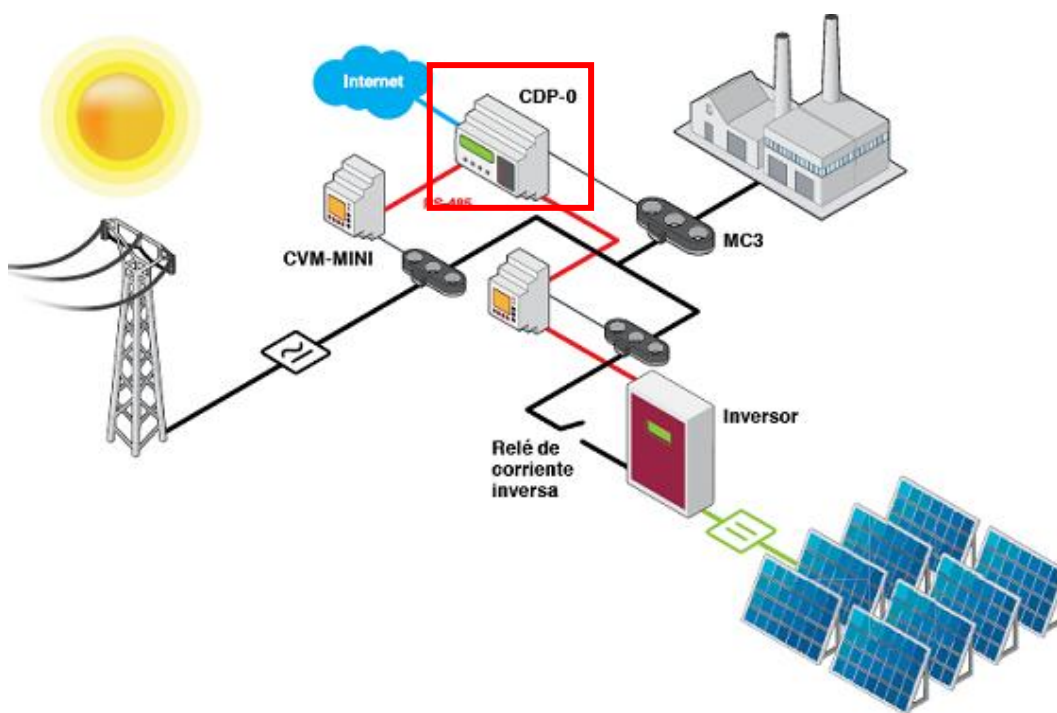


Figura 28. Instalación fotovoltaica con gestor energético o CDP.

El CDP es el complemento ideal para instalaciones fotovoltaicas en régimen de autoconsumo sin inyección a la red.

En España, como gestor energético para cualquier marca de inversor tenemos a CIRCUTOR, el resto son propios de cada fabricante y sólo pueden utilizarse por sus propios inversores.

3.3. Configuraciones

En **España** existen **tres tipos de instalaciones de autoconsumo**, en función de la relación que se establece entre la producción solar y la red eléctrica.

3.3.1. Autoconsumo Fotovoltaico Instantáneo.

El autoconsumo instantáneo fotovoltaico consiste en generar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico por el propio usuario y consumirla de forma instantánea, sin inyectar nada a la red.

La instalación fotovoltaica está conectada a la red interna del edificio, pero no hay inyección a la red.

Es el sistema fotovoltaico más sencillo y económico. Cubre únicamente el consumo base de la vivienda o empresa. Hay que consumir todo lo que producen los paneles solares en cada instante para que no sobre energía. No requiere baterías de acumulación.

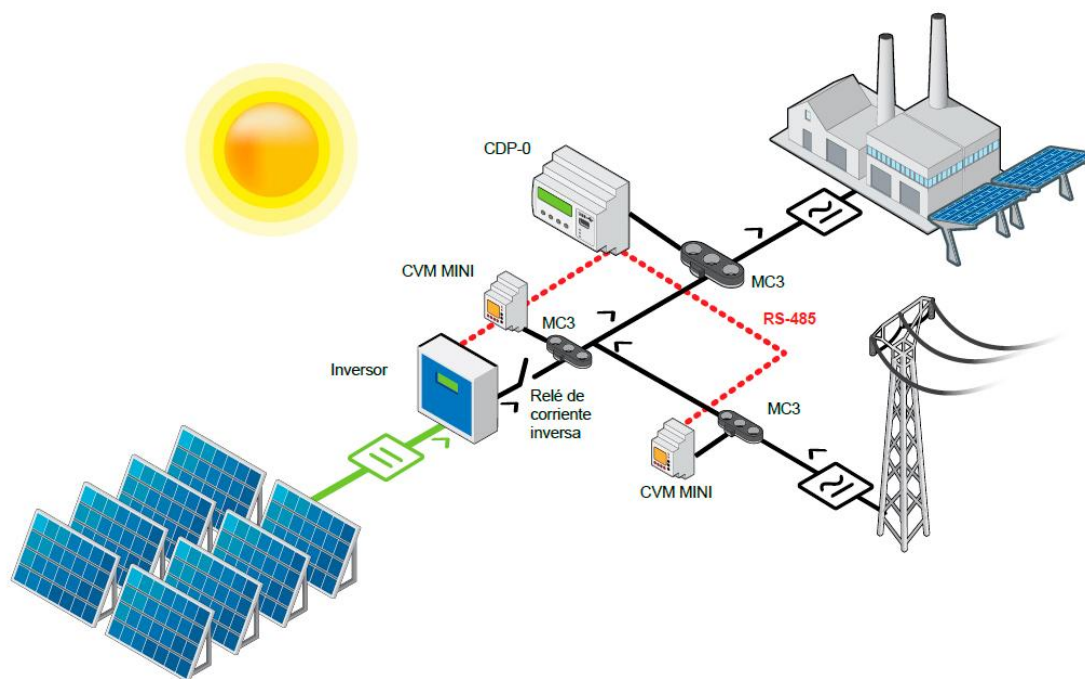


Figura 29. Esquema Autoconsumo fotovoltaico instantáneo.

El inversor fotovoltaico en este tipo de autoconsumo, regula su potencia a la demanda real sin consumir energía de la red y sin inyectar la que le sobra a la instalación.

Como hemos indicado anteriormente, un complemento ideal es un **gestor energético**, que permite activar automáticamente electrodomésticos en las horas de mayor producción solar.

El control dinámico de potencia o gestor actúa sobre el inversor variando la potencia de salida y adaptando dicha potencia a las necesidades de la instalación en cada momento. Además mejora el rendimiento del sistema.

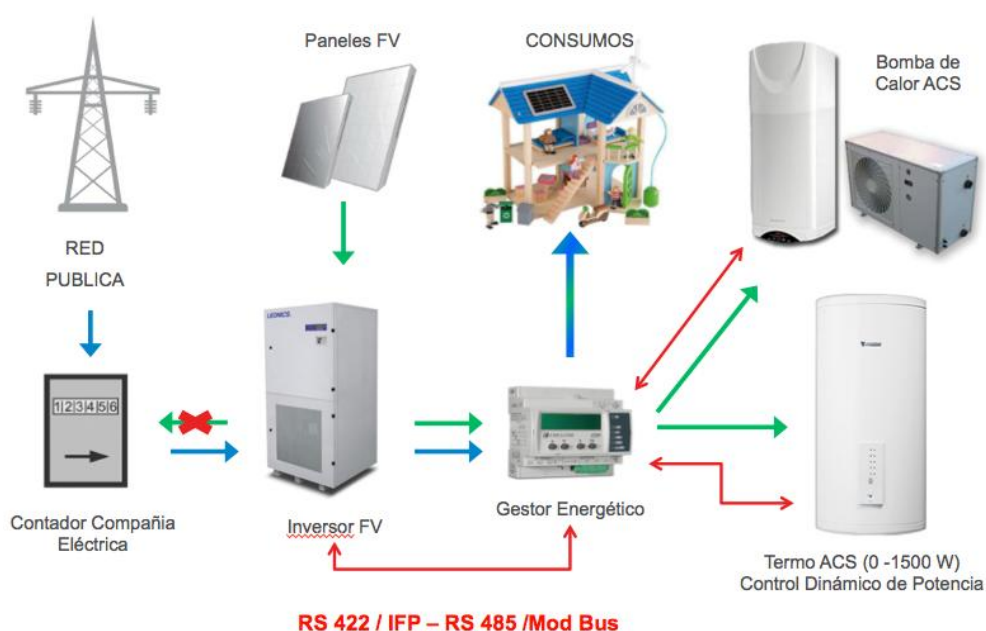


Figura 30. Esquema Autoconsumo instantáneo con gestor energético.

En los sistemas de autoconsumo instantáneo toda la energía eléctrica generada es consumida por las cargas de la instalación, sin que haya inyección a la red eléctrica. Para garantizar la no inyección tenemos dos posibilidades:

- Dimensionar la instalación fotovoltaica de tal manera que sea menor que el consumo mínimo que se predice.
- Tener sistemas de gestión de cargas que posibiliten la limitación de la potencia generada por los inversores fotovoltaicos. Esto es posible gracias al gestor energético o CDP.

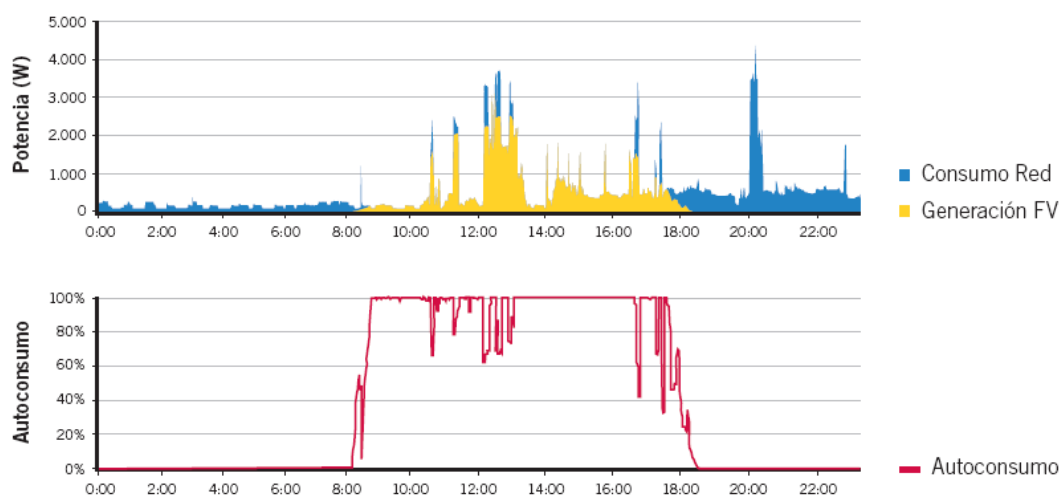


Figura 31. Consumo de una vivienda con autoconsumo instantáneo.

En esta imagen, podemos observar que se logra un 100% de autoconsumo en las horas céntricas del día gracias al gestor energético.

La instalación fotovoltaica tiene que reunir **tres requisitos** para cumplir con la legislación española vigente:

- No inyectar energía eléctrica generada a la red de distribución eléctrica.
- Cumplir la normativa europea “anti-islanding”, que no autoriza que un generador autónomo suministre energía eléctrica si no hay suministro de la red de distribución eléctrica.
- Cumplir las normas de seguridad vigentes.

Para legalizar las instalaciones de energía solar fotovoltaica en autoconsumo sin inyección a la red hay que cumplir unos requisitos, este tipo de trámites facilita la instalación y el uso de estas instalaciones fotovoltaicas a los consumidores finales, lo que se traduce en una serie de ahorros económicos.

El proceso a seguir para tramitar este tipo de instalaciones es el siguiente:

- **Procedimiento normal:** a partir de la aprobación del RD 1699/2011, de 18 de noviembre 2011, sobre la regulación de conexión a la red de instalaciones de generación de pequeña potencia. Este procedimiento requerido es aplicable para las instalaciones en régimen especial.

El Gobierno aprobará unas condiciones administrativas y técnicas para la conexión de estas instalaciones, por lo que deberán registrarse en el momento en que se apruebe y regule la creación del registro.

- **Procedimiento abreviado:** actualmente, sólo es aplicable en algunas Comunidades Autónomas como Aragón, País Vasco, Navarra, Cataluña, Madrid o La Rioja. Ante el incumplimiento indicado en el RD 1699/2011 de regular el autoconsumo con balance neto, dichas comunidades iniciaron un proceso de análisis y regulación en el proceso de legalización de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red para autoconsumo con inyección cero. Estas Comunidades Autónomas aceptarán la tramitación de dichas instalaciones dentro de las instalaciones de baja tensión, ITC-BT 40, incluido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), ya que al no inyectar a la red los excedentes, pueden considerarse instalaciones generadoras asistidas por red que al no verter no requieren registrarse en régimen especial. Cuando se apruebe y regule la creación del registro de instalaciones con autoconsumo, este tipo de instalación tendrá que registrarse; y tendrán la obligación de cumplir los requerimientos administrativos que la administración fije durante el tiempo de su funcionamiento.

El proceso que hay que seguir a la hora de legalizar una instalación fotovoltaica para autoconsumo con inyección cero es idéntico al proceso para legalizar cualquier instalación receptora.

Los pasos a seguir son: presentar la documentación técnica de dicha instalación ante un organismo de control, verificar que cumple las condiciones de seguridad, registro y sello que avala la legalización del sistema, y presentación del proyecto a la compañía distribuidora.



Figura 32. Pasos del proceso de legalización.

Para instalar los equipos para la producción de energía hay que solicitar únicamente una licencia de obra menor municipal. Además, en el montaje se cumplirán todos los requisitos técnicos que indica tanto el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión como el Código Técnico de la Edificación.

El inversor tendrá que estar homologado según las normativas vigentes.

La **documentación** necesaria para la legalización de la instalación es:

- Informe de solicitud.
- Boletín del instalador.
- Esquema unifilar.
- Memoria o proyecto en función de la potencia del inversor:
 - o Para potencia menor a 10 kW es suficiente con una memoria descriptiva
 - o Para potencia mayor a 10 kW se exige un proyecto técnico.

En España, a pesar de la legislación vigente, este tipo de generación eléctrica está aumentando considerablemente, cada vez más usuarios particulares e industriales instalan autoconsumo instantáneo, ya que se puede autorizar como una instalación eléctrica cualquiera, lo que facilita y hace más barata la gestión de dichas instalaciones ante las Autoridades.

Gracias a esta simplificación, cada vez más usuarios y comunidades autónomas están apostando por este tipo de autoconsumo como fuente de energía alternativa, económica, eficiente y menos contaminante.

Aunque su desarrollo fue en España, actualmente empieza a ser solicitado en países como Australia, EEUU, Portugal, Alemania, Reino Unido, Sudáfrica, Brasil y prácticamente toda Latinoamérica.

El autoconsumo instantáneo también es interesante en países en vías de desarrollo, debido al alto precio de la energía, a la deficiente calidad y el difícil acceso de la distribución, y al aumento creciente de demanda de energía eléctrica.

El consumidor estará conectado a la red siempre y va a disponer de energía eléctrica aunque esté nublado o sea de noche.

Los consumidores de energía eléctrica que más pueden beneficiarse de este tipo de autoconsumo, son los de tipo comercial como restaurantes y hoteles, y los de tipo industrial como fábricas, que tienen un consumo mínimo estable durante todo el año. Se necesita que la demanda mínima durante el día sea de 1 o 2kW como mínimo ya que es cuando el sistema genera, si no se cumple se encarece el precio de la instalación fotovoltaica y por consiguiente también el de la energía eléctrica que se produzca.

A modo de ejemplo real tenemos un hotel-restaurante en Sant Cugat (Barcelona), que gracias al autoconsumo ha obtenido unos ahorros económicos considerables.

La potencia anual consumida por el restaurante es de 241.731 kWh, y solo puede generar 20.149 kWh al año, un 8% del total debido a que la superficie disponible para los módulos fotovoltaicos es pequeña. A pesar de esto, el dueño se ahorró un 8% de la energía necesaria para abastecerse.

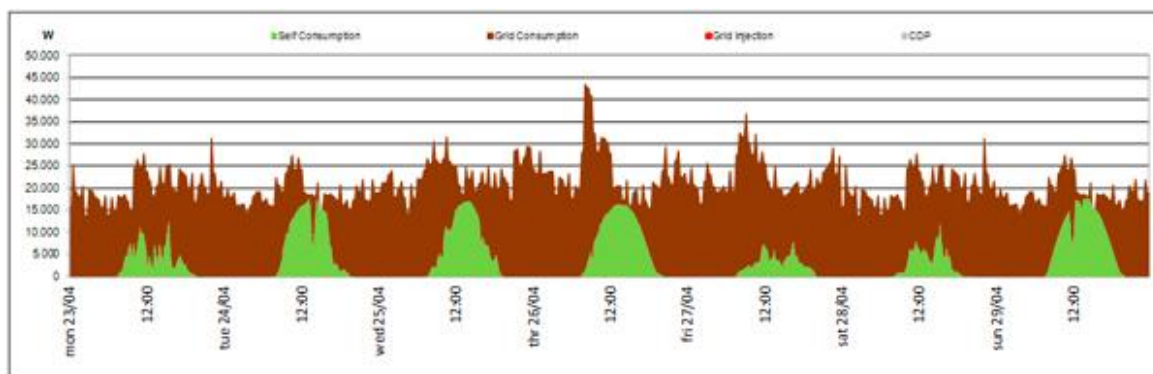


Figura 33. Consumo eléctrico de la red eléctrica en marrón y en verde el autoconsumo desde energía fotovoltaica.

En la nueva Ley de Autoconsumo (Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico), aparece un **peaje o impuesto de autoconsumo** que se aplicará al autoconsumo instantáneo. En el primer borrador de dicha ley, se establecían tres modalidades de autoconsumo, pero en el segundo, que aún está en tramitación en el Parlamento, aparecen cuatro:

- Modalidades de suministro con autoconsumo, para instalaciones de generación, destinadas al consumo propio y que no estén dadas de alta en el Registro Administrativo como instalación de producción de energía eléctrica. Según el borrador, tendrán un tamaño máximo de 100 kW y regalarán la energía excedente, pagando el correspondiente peaje de respaldo.
- Modalidades de producción con autoconsumo, cuando sea un consumidor asociado a una instalación de producción correctamente inscrita en el Registro Administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica. Según el borrador, serán instalaciones que disponían de prima y podrán reconvertirse al autoconsumo, con independencia de su tamaño, percibiendo el precio del Mercado por la energía excedente y también pagarán peaje de respaldo.
- Modalidades de producción con autoconsumo conectado a través de una línea directa con una instalación de producción, y el borrador la incluye en el segundo tipo.
- Cualquier otra modalidad de consumo de energía eléctrica, por lo que pudiera haberse quedado en el aire.

El borrador establece una modalidad de autoconsumo especial para los consumidores conectados a través de una línea de alta tensión. Estos consumidores tendrán derecho a autoconsumir instantáneamente sin que se les cobre el peaje de respaldo, pero dicho peaje sí se aplicará a la energía excedente que inyecten a la red.

Actualmente y debido a la contraposición de la CNE a dicho borrador, para poder atar estos cabos sueltos, tendremos que esperar al nuevo borrador del Real Decreto de Autoconsumo. Además, los consumidores de energía solar no están dispuestos a pagar este impuesto, ya que es tan caro que sale más barato estar conectados a la red. Algunos han optado por no dar de alta su instalación en el Registro Administrativo como exige la ley, lo que puede ocasionarles multas de millones de euros.

3.3.2. Autoconsumo Fotovoltaico Aislado de la red.

Este tipo de sistemas fotovoltaicos en autoconsumo consiste en consumir y/o almacenar toda la energía proveniente del generador fotovoltaico. Por el momento, no es necesario registrar la instalación.

El consumidor al no estar conectado a la red, necesita de un sistema de baterías, con mayor o menor capacidad, para el almacenamiento de la energía eléctrica en días nublados y por las noches. Además, en algunos casos, por motivos de potencia, será necesario un grupo auxiliar o motor generador de apoyo.

Normalmente, al incluir baterías, estos sistemas serán algo más costosos, pero pueden ser interesantes para consumidores alejados de un punto de conexión a la red eléctrica, es decir, que es la solución ideal cuando no hay líneas eléctricas para conectar la instalación.

Es la solución de mayor inversión y cubre el 100% del consumo. Nos permite evitar toda la burocracia y autorizaciones para conectarnos a red.

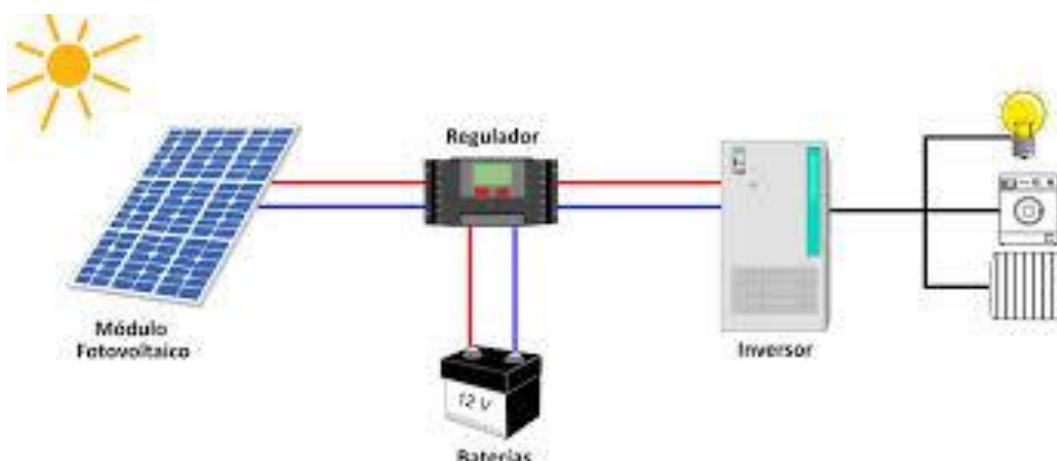


Figura 34. Esquema Autoconsumo fotovoltaico aislado de la red.

En estos sistemas también es importante el gestor energético o control dinámico de potencia, ya que muchas configuraciones no podrían implementarse sino introdujésemos dichos gestores, cuya principal misión es administrar eficientemente la potencia de cada uno de los componentes de la instalación fotovoltaica, ya que actúan sobre el inversor y varían la potencia en función de las necesidades de consumo en cada momento.

En el caso de necesitar una fuente de alimentación auxiliar tendríamos un **sistema híbrido**. Dentro de los sistemas híbridos tenemos varias configuraciones de autoconsumo.

- **Autoconsumo Híbrido (diesel + fv) con gestor energético**

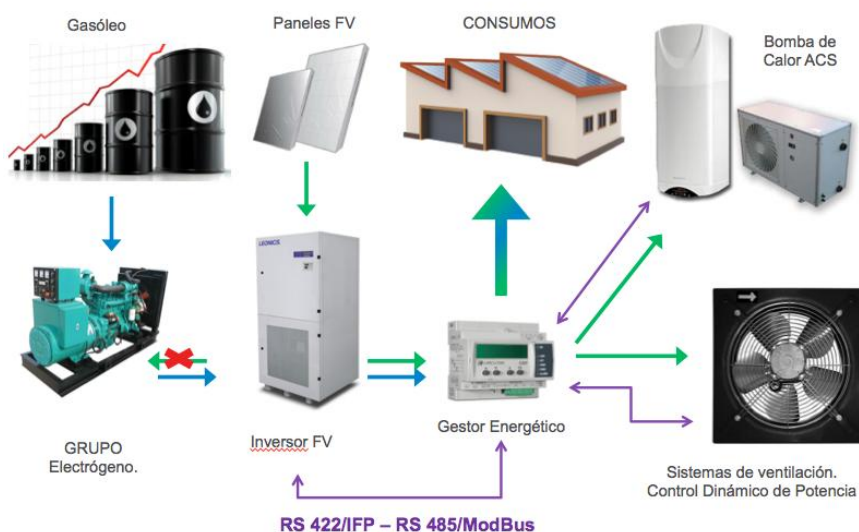


Figura 35. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv) con gestor energético.

En sistemas como el de la figura 35, donde se integra energía fotovoltaica con una potencia no superior al 30 %, los ahorros de combustible conseguidos están en torno al 20-40 %.

- **Autoconsumo Híbrido (diesel + fv + Respaldo de potencia) con gestor energético**

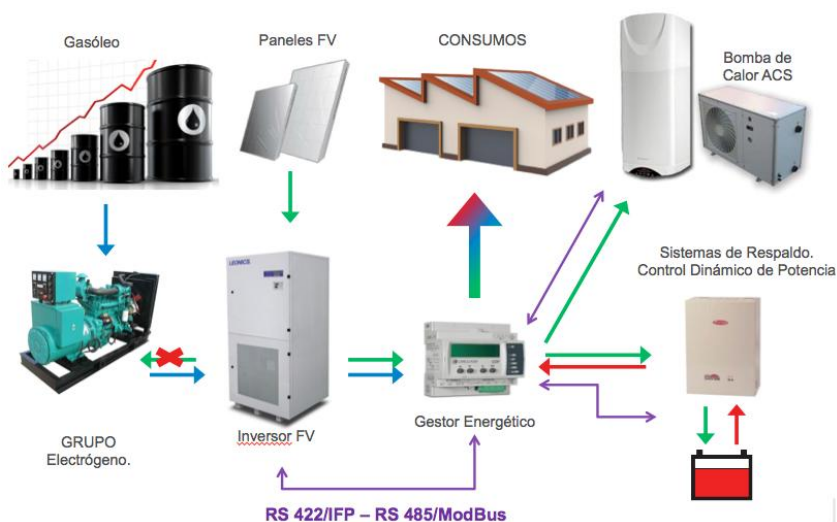


Figura 36. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv+ Respaldo de potencia) con gestor energético.

En este tipo de sistemas (figura 36), se puede llegar a igualar la potencia del grupo con la fotovoltaica, consiguiendo ahorros entorno al 70 %, son los que más eficiencia y estabilidad dan al sistema.

Además, se pueden emplear varios generadores diesel en el mismo sistema.

- **Autoconsumo Híbrido (diesel + fv + Baterías) con gestor energético**

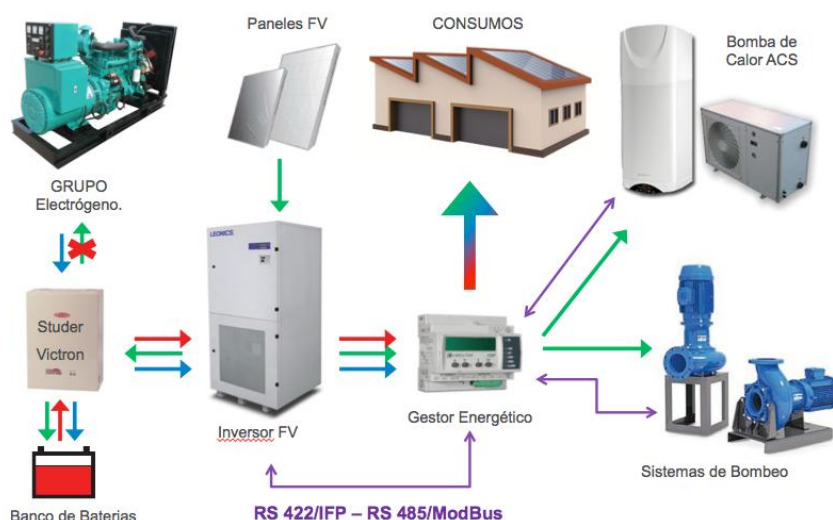


Figura 37. Esquema Autoconsumo Híbrido (diesel + fv + Baterías) con gestor energético.

Este esquema (figura 37), tiene como objetivo parar el grupo al incorporar las baterías, lo que le permite grandes ahorros económicos haciendo un uso diario del grupo pero lo más reducido posible. Los ahorros superan fácilmente el 80 %.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red se diferencian por la tensión que tengan en el sistema, ya sea corriente continua o corriente alterna. En caso de instalaciones conectadas en corriente continua, los módulos fotovoltaicos se conectan a través de reguladores de carga de CC/CC. En cambio, en sistemas aislados conectados en corriente alterna, hay que utilizar un inversor fotovoltaico.

Para realizar la instalación de un sistema fotovoltaico aislado se debe tener en cuenta una serie de factores:

- La potencia de conexión.
- El consumo de energía de dicha instalación.
- El período de utilización.
- La ubicación.
- El clima.

Entre las aplicaciones de estos sistemas podemos destacar:

- Electrificación rural: bombeo de agua, regadío, ganadería, etc.
- Señalización e iluminación: alumbrado público, señales de información o semáforos.
- Aplicaciones industriales: telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia en refinerías.
- Actividades de ocio en refugios de montaña, casas de campo, campings o caravanas.

A causa de la nueva ley de autoconsumo, de la cual hablamos anteriormente, muchos consumidores están optando por el autoconsumo aislado de la red, para así evitar pagar el peaje de respaldo.

3.3.3. Autoconsumo Fotovoltáico por Balance Neto y con venta a red eléctrica: “Net Metering”, también denominado Autoconsumo Diferido.

El autoconsumo fotovoltaico por **Balance Neto** o autoconsumo con inyección de energía excedente a la red, es un sistema de intercambio que permite al consumidor producir “in situ” parte o toda la energía eléctrica que necesita para su consumo. Los usuarios producen energía eléctrica, autoconsumen una parte y vierten el excedente a la red de distribución. Además, los consumidores toman de la red la energía necesaria que el sistema de autoconsumo fotovoltaico no produzca en determinadas fases de tiempo.

La compañía eléctrica que nos suministra electricidad efectuará las lecturas de los contadores de energía, tanto de generación como de consumo, cuando la demanda sea superior a la producción de nuestra instalación fotovoltaica, y descontará en nuestra factura los kWh sobrantes que hayamos inyectado en su red.

El consumo se trata por separado de la producción, lo que significa que el usuario consume la electricidad autogenerada e inyecta la energía excedente a la red.

Este tipo de autoconsumo permite usar la energía eléctrica producida en exceso por nuestra instalación, como es el caso de verano o vacaciones, cuando la necesitemos realmente, como es en invierno o por la noche.

Es una inversión intermedia y cubre el 100% del consumo, en la cual se puede producir más de lo que se consume, vendiendo el exceso a la red eléctrica. No requiere baterías, pero sí equipos que se encarguen de gestionar la conexión a la red eléctrica.

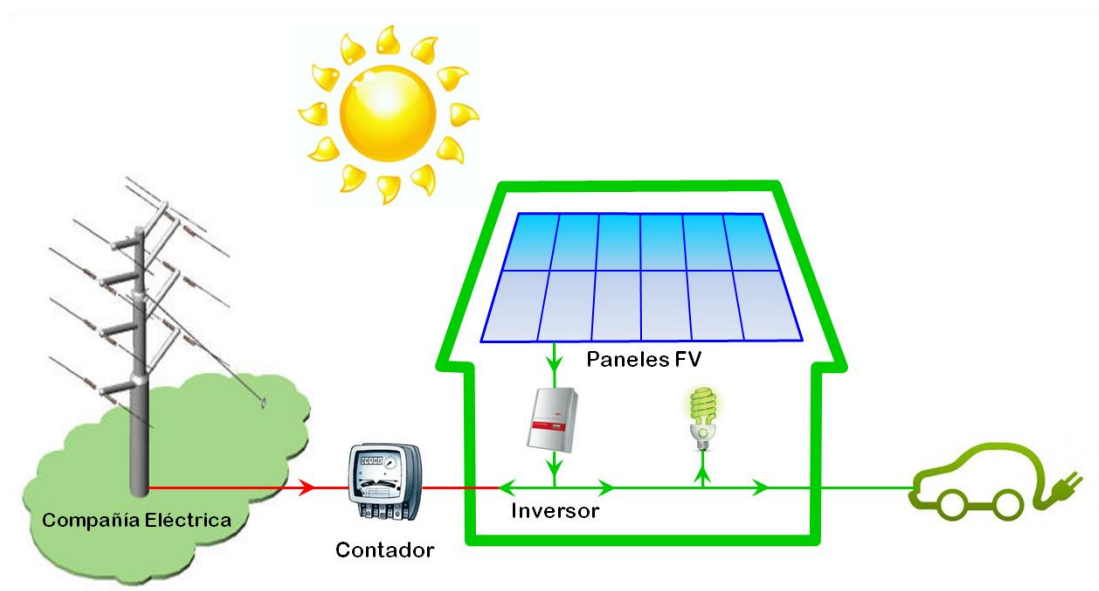


Figura 38. Esquema Autoconsumo fotovoltaico por Balance Neto.

Actualmente, en España hay dos opciones para este autoconsumo:

- Reglamento sobre el autoconsumo y la venta a la red eléctrica o **venta a pool**: es la única opción legal para inyectar la producción a la red. El excedente de energía que no se consume se vende a precio de pool.
La obtención del permiso para legalizar y autorizar dicha venta es un proceso laborioso de tramitaciones que se puede conseguir mediante la aplicación de Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el cual se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Net -metering: La Ley del Sector Eléctrico 24/2013, de 26 de diciembre, establece que el Gobierno aprobará las condiciones técnicas, administrativas y económicas para la conexión de instalaciones de autoconsumo a la red, para que puedan vender la energía sobrante a la red eléctrica.
Si el sistema productor de energía eléctrica, de acuerdo con la nueva Ley 24/2013, está conectado en su totalidad o en parte al sistema eléctrico, los propietarios estarán sujetos a los derechos y obligaciones previstos en la ley y en su normativa de desarrollo para los productores y los consumidores. Por lo tanto, todos los consumidores sujetos a cualquier formato de autoconsumo que estén conectado a la red, tendrán que pagar los mismos peajes y derechos de acceso a la red asociados con los costes del sistema que se aplican a un consumidor cualquiera de los formatos de consumo propio.

El autoconsumo por Balance Neto permite usar la red eléctrica como una batería inagotable.

Se produce un balance neto de energía eléctrica, es decir, la energía inyectada a la red se resta a la energía consumida por la instalación fotovoltaica.

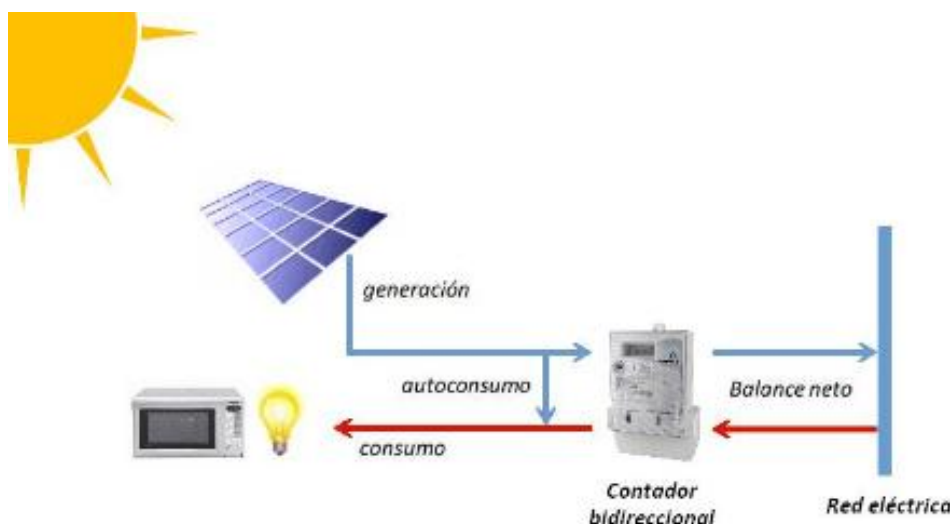


Figura 39. Conexión a la red de un sistema fotovoltaico de autoconsumo y Balance Neto.

Esta modalidad de autoconsumo, es una compensación de saldos de energía de forma instantánea o diferida, ya que posibilita a los consumidores la producción individual de energía eléctrica para consumo propio, y ajusta la curva de producción con la curva de demanda.

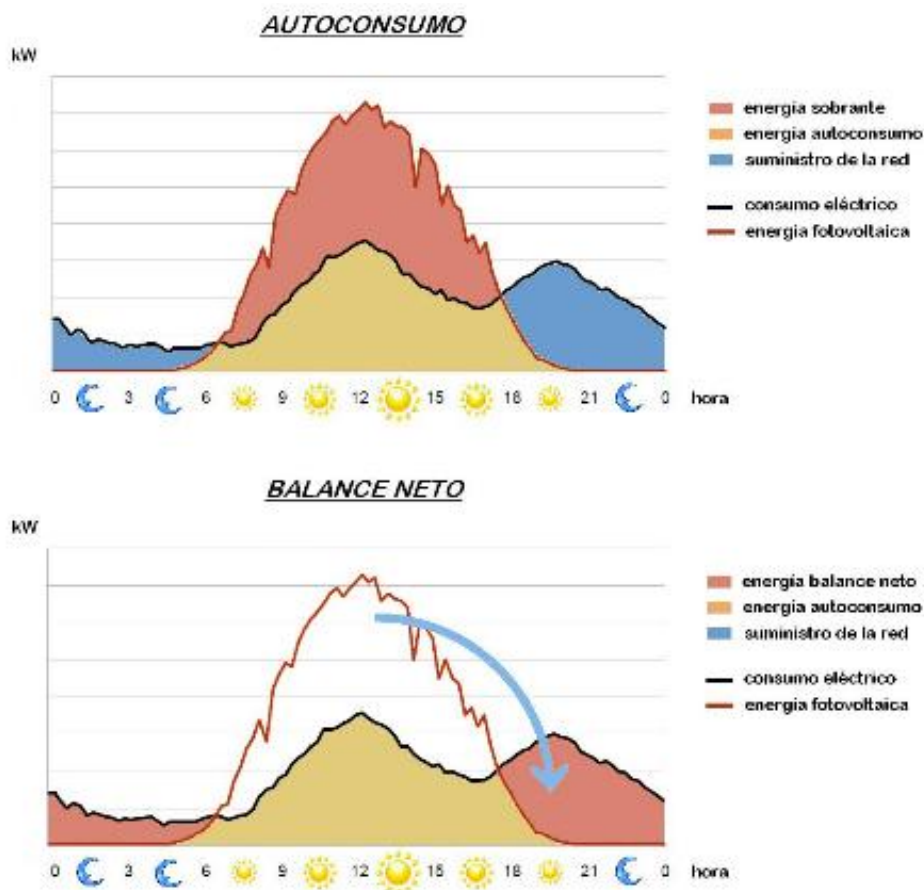


Figura 40. Funcionamiento de un sistema de autoconsumo y Balance Neto.

Permite inyectar en la red eléctrica el exceso de energía eléctrica producido por nuestra instalación fotovoltaica, con el fin de poder usar ese exceso en otro momento.

El sistema de autoconsumo por Balance Neto tiene una serie de ventajas:

- Descentraliza y aumenta los puntos de producción eléctrica.
- Posibilita el ahorro y la eficiencia del consumo energético.
- Fomenta numerosos sectores económicos.

La integración de este tipo de instalaciones incluiría en el sistema eléctrico mayor competencia y reduciría la factura eléctrica, lo que mejoraría notablemente competitividad y transparencia del mercado eléctrico español.

Mientras el Real Decreto que autoriza el Autoconsumo por Balance Neto no sea aprobado, lo que se puede hacer es tener un sistema de autoconsumo que no inyecte la energía fotovoltaica excedente a la red pero que deja el sistema preparado para el balance neto sin coste adicional, lo que supone disfrutar de autoconsumo instantáneo sin vertido a la red, para que cuando se apruebe la ley no asuma ningún coste a mayores y el sistema se ajuste a la nueva regulación.

En **España**, el Balance Neto fue propuesto por la **Unión Española Fotovoltaica** (UNEF) con el fin de impulsar las energías renovables y sin necesidad de ayuda económica complementaria.

A diferencia de la mayor parte de países occidentales desarrollados, en nuestro país, el balance neto está pendiente de regulación y bloqueado por los intereses oligopolistas del mercado eléctrico. Hay que destacar que España es el país europeo con mejores condiciones climatológicas para impulsar la energía solar fotovoltaica, ya que percibe una radiación solar entre 50% y 100% superior a los países del norte de Europa.

El primer paso, al aprobar el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, en el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia, el cual se aplica a consumidores de electricidad de potencia contratada no superior a 100 kW por instalación que utilicen cualquier tecnología renovable para la generación eléctrica.

Este decreto no determina las condiciones administrativas, técnicas y económicas del consumo de energía eléctrica que se produce en la red de un consumidor para consumo propio, por lo que dicho consumidor puede entregar a la compañía eléctrica la energía excedente en el interior de su red, sin ninguna posibilidad de incentivo económico.

Tampoco han regulado el balance neto la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, ni el Real Decreto-ley 13/2012, de 30 de marzo, el Real Decreto-ley 29/2012, de 28 de diciembre, y el Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero. El Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, se refiere al balance neto como una alternativa real para el desarrollo de instalaciones pequeñas que fomenten el autoconsumo de energía eléctrica.

Actualmente, el balance neto sigue sin aprobarse. Solo se dispone de un borrador de la **Comisión Nacional de Energía** (CNE), en el que recoge que los sistemas de autoconsumo tienen que ser totales, por lo que se debe consumir toda la energía eléctrica producida sin inyectar energía a la red, lo que se conoce como autoconsumo instantáneo.

En **otros países** sí está regulado el autoconsumo con balance neto. En EEUU, por ejemplo, se denomina crédito eléctrico y se encuentra en más de 40 estados. Japón tiene un sistema similar al de EEUU pero de entorno local. Otros países como Canadá, Australia o Brasil tienen reguladas instalaciones de baja potencia.

En Europa, está presente en Italia, Alemania, Dinamarca y Bélgica. En Alemania, por ejemplo, se obtiene una prima por el autoconsumo.

El sistema de **balance neto** se puede hacer en cada vivienda: **balance neto individual**, o en varios edificios: **balance neto compartido**, pero hoy por hoy la ley no contempla esta opción puesto que las instalaciones están limitadas a 100 kW de potencia y a un solo contrato de generación fotovoltaica por usuario.

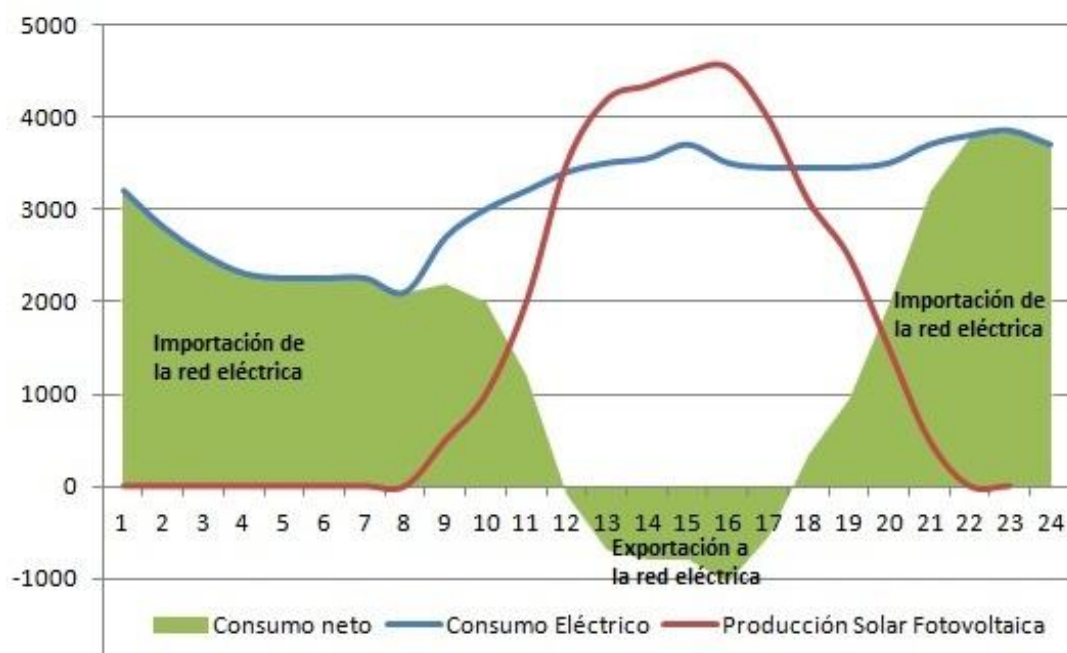


Figura 41. Balance neto individual.

Para que este tipo de autoconsumo funcione hay que fijar un periodo de compensación adecuado, durante el cual se puede consumir la energía excedente que hemos vertido a la red. Si dicha compensación es pequeña, las instalaciones no serán tan rentables. Se establece un periodo de 12 meses, para paliar las diferencias de producción y consumo a lo largo del año.

Además, está pendiente de regular el peaje de acceso, que es una retribución que reclaman las compañías eléctricas por hacer uso de sus redes para inyectar el exceso de energía eléctrica. El coste de dicho peaje debería ser anulado o de muy bajo valor si se quiere garantizar la competitividad de los pequeños productores, pero las compañías eléctricas no lo ven así y querrán ser compensadas por los ingresos que dejarán de recibir.

La UNEF no está de acuerdo con la limitación de la potencia contratada de las plantas de generación eléctrica a 100 kW, ya que imposibilita el balance neto compartido.

Otra incógnita es si este tipo de autoconsumo recibirá primas para impulsar su desarrollo. Se está intentado promover la adquisición de equipos de generación de energía eléctrica hechos en Europa, para así impulsar la industria local.

El incremento del balance neto posibilitaría el impulso del sector de las energías renovables, en especial la solar fotovoltaica, que se ha visto afectada por la frustrada política de primas públicas y los cambios legislativos. El balance neto no necesita primas, con un proyecto de la amortización de la inversión, que incluya el peaje por conexión a la red, bastaría. Además, darle un precio de venta a la energía excedente motivaría a los usuarios particulares para que transformasen sus tejados y casas de campo en minicentrales fotovoltaicas.

Para la instalación de sistemas de autoconsumo con balance neto, hay que utilizar inversores de conexión a red, pueden ser monofásicos o trifásicos, dependiendo del tipo y de la potencia de la instalación.

Los inversores monofásicos son más indicados para viviendas y los trifásicos para fábricas pequeñas o edificios de oficinas.

En el caso de decidirse a hacer una instalación fotovoltaica para autoconsumo con balance neto en una vivienda unifamiliar, el usuario debe disponer de sus consumos anuales y del recurso energético disponible, el cual depende de muchos factores, como son la situación geográfica, el clima o la inclinación de los módulos.

Capítulo 4. Análisis de un ejemplo

4.1. Emplazamiento de la instalación fotovoltaica

El objetivo de este ejemplo es el diseño de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para autoconsumo instantáneo sobre la pérgola de un parking de un pequeño restaurante de dimensiones definidas.

Sabemos que el cliente tiene contratada una potencia de 5,5KW y que en la actualidad tiene problemas de falta de potencia en ciertos momentos del día, sobre todo en las horas cercanas y durante la comida. La solución propuesta por la compañía eléctrica es ampliar el nivel de potencia contratada, para lo cual será necesario que el suministro se realice a 400 V y trifásica, con el consiguiente aumento en el consumo eléctrico, gastos de instalación y remodelación. Es en este momento donde un sistema fotovoltaico en autoconsumo puede dar solución a este problema.

Se hará un ejemplo de aplicación de **autoconsumo fotovoltaico instantáneo** en el tejado del parking de un pequeño restaurante de carretera. El restaurante está situado en el municipio de La Calzada de Oropesa, en la provincia de Toledo, km 157 de la A-5.

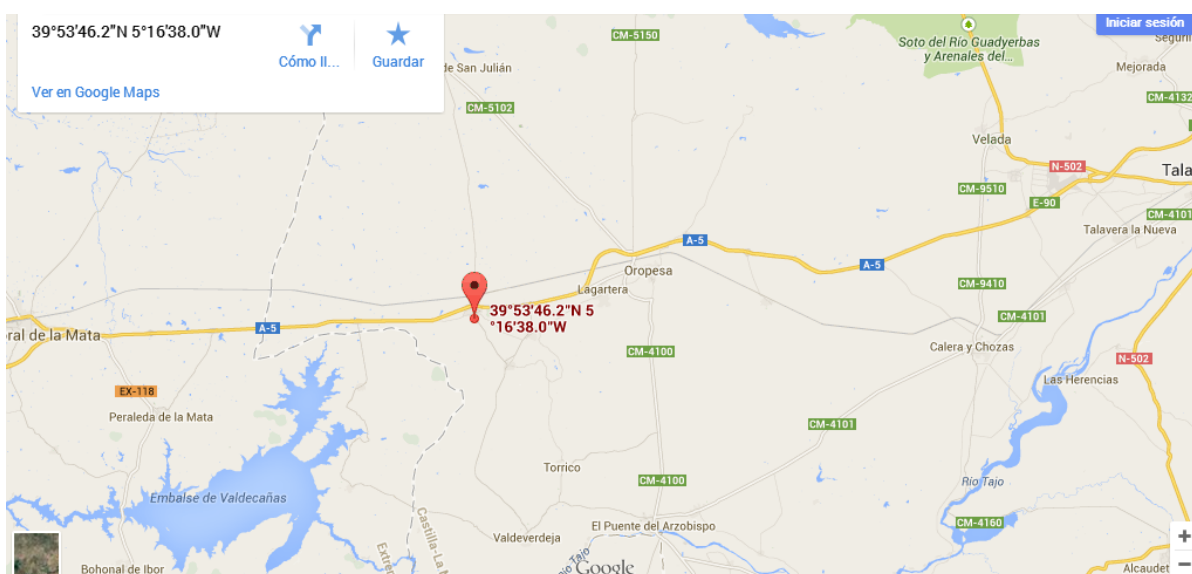


Figura 42. Localización del restaurante en el municipio de La Calzada de Oropesa (Toledo).

La pérgola del parking donde se instalarán los módulos está orientada completamente al sur ($\alpha=0^\circ$) e inclinado 35° que es la inclinación óptima respecto a la horizontal.

La instalación se realiza sobre la pérgola del parking. El terreno donde se localiza la pérgola está a 354m sobre el nivel del mar y cuyas coordenadas son:

Latitud: 39° 53' 55'' N

Longitud: 5° 16' 39'' O

Las dimensiones de la pérgola del parking son: 5x15m, lo que proporciona una superficie total de 75m².



Figura 43. Aparcamiento fotovoltaico del restaurante.

Se estima el consumo medio de energía al día (E_D en Wh/día).

Cargas	Número	Potencia (W)	Nº hora al día	Wh/día
Iluminación interior	10	20	12	2400
Iluminación exterior	1	50	4	200
TV	2	50	12	1200
Cámaras frigoríficas	2	80	16	2560
Enfriador cerveza	1	80	16	1280
Cafetera	1	30	8	240
Extractor humos	1	100	5	500
Equipo música	1	25	8	200
Horno	1	4000	2	8000
Freidora	1	1500	3	4500
Máquina recreativa	1	100	12	1200
Botellero	1	80	16	1280
Ventilador techo	2	60	4	480
Fabricador hielo	1	80	12	960

$$E_D = 25000 \text{ Wh/día} = 25 \text{ KWh/día}$$

4.2. Descripción general de la instalación.

La instalación solar fotovoltaica se ubicará sobre la pérgola citada anteriormente. El generador fotovoltaico estará formado por 20 paneles marca SUNTECH modelo STP-290-24/Vd, lo que dará una potencia máxima de 5,8kW.

El inversor se ha elegido buscando que cumpliese los rangos de operación necesarios para el correcto funcionamiento de los paneles solares, eligiendo el FRONIUS IG PLUS 55 V-1, cuya potencia de salida es de 5kW.

4.2.1. Elección de los paneles fotovoltaicos.

Para elegir los módulos fotovoltaicos tendremos en cuenta una serie de cosas:

- Espacio a ocupar: espacio disponible del que se dispone a la hora de dimensionar el campo de paneles solares. En nuestro caso, la situación de los módulos será sobre la pérgola del parking, por lo que tendremos limitaciones de espacio. Anteriormente dijimos que la pérgola posee un área de planta de 75m^2 .

A la hora de orientar los paneles solares, debido a que no se aprecian obstáculos que considerar para evitar posibles sombras en los paneles, existe libertad de orientación, por lo que se orientarán al sur ya que con dicha orientación la captación de radiación solar es máxima a lo largo del día. Al estar la pérgola libre de obstáculos que puedan producir sombras sobre los paneles, podrá utilizarse todo el espacio del que se dispone de forma que la orientación de los paneles sea óptima.

Se ha escogido un área útil en forma de rectángulo de 15m de largo y 5m de ancho, donde la superficie libre de obstáculos de 75m^2 .

- Presupuesto: es una consideración muy importante. A la hora del diseño de este tipo de instalaciones encargadas por un cliente, hay que tener en cuenta el presupuesto de dicho cliente, ya que si se sobrepasa, no será posible realizar el proyecto.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se elige el panel solar fotovoltaico STP 290-24/Vd de SUNTECH. Este tipo de módulo está creado especialmente para alimentar sistemas de 24Vcc.

La siguiente figura muestra los parámetros fundamentales del panel solar escogido, que serán importantes a la hora de elegir el inversor:

Electrical Characteristics

STC	STP290-24/Vd
Optimum Operating Voltage (Vmp)	36.8 V
Optimum Operating Current (Imp)	8.02 A
Open - Circuit Voltage (Voc)	44.9 V
Short - Circuit Current (Isc)	8.53 A
Maximum Power at STC (Pmax)	290 W
Module Efficiency	14.9%
Operating Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	1000 V DC
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Power Tolerance	0/+5 W

STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5

Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline 156 × 156 mm (6 inches)
No. of Cells	72 (6 × 12)
Dimensions	1956 × 992 × 50 mm (77.0 × 39.1 × 2.0 inches)
Weight	27 kgs (59.5 lbs.)
Front Glass	4.0 mm (0.16 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP67 rated
Output Cables	H+S RADOX® SMART cable 4.0 mm ² (0.006 inches ²), symmetrical lengths (-) 1100 mm (43.3 inches) and (+) 1100 mm (43.3 inches), RADOX® SOLAR integrated twist locking connectors

Figura 44. Características del módulo fotovoltaico SUNTECH STP 290.

Orientación de los paneles.

La orientación de los paneles es un factor muy a tener en cuenta a la hora de diseñar estas instalaciones fotovoltaicas, ya que hay que procurar que los paneles capten la mayor cantidad de radiación solar posible. Para el caso de extensiones llanas, es libre; pero a veces está impuesta por el propio emplazamiento en el que se van a instalar los paneles, como es el caso de tejados que ya tienen una orientación definida.

Según el IDAE, la orientación se define por el ángulo llamado **azimut α** . Es el ángulo que se forma entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar.

El valor típico de este ángulo es 0° para los módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y 90° para módulos orientados al oeste.

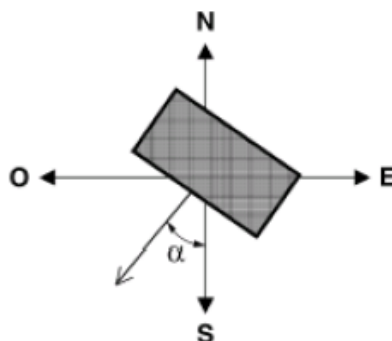


Figura 45. Ángulo azimut.

Para calcular la orientación óptima de los paneles solares debe considerarse la ubicación de los mismos. En este caso, los paneles captarán la mayor cantidad de radiación solar si se orientan al sur, donde $\alpha=0^\circ$ (módulos orientados al sur en países del hemisferio norte).

Inclinación de los paneles.

Al igual que la orientación de los paneles, otro punto a tener en cuenta para el diseño de estas instalaciones fotovoltaicas, es la inclinación de los módulos para la captación de la mayor cantidad de radiación solar.

Según el Pliego de Condiciones del IDAE, la inclinación de los módulos solares se define mediante el **ángulo de inclinación β** . Es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

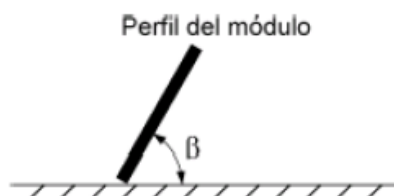


Figura 46. Inclinación de los módulos.

El diseñador buscará orientar el generador de forma que la energía captada sea máxima en el periodo de diseño.

Se determinará la orientación e inclinación óptimas ($\alpha=0^\circ$, β_{opt}). Normalmente en el periodo de diseño el criterio de “mes peor” corresponde con el de menos radiación. Para utilizar este método hay que tener en cuenta dos variables: periodo en el que se utilizará la instalación, si se explotará en verano, en invierno o durante todo el año; y la latitud del emplazamiento donde estarán instalados los paneles solares.

Según el método de “mes peor”, la inclinación óptima aproximada de los paneles respecto a la horizontal, viene expresada en la siguiente figura:

<i>Periodo de diseño</i>	β_{opt}
Diciembre	$\phi + 10$
Julio	$\phi - 20$
Anual	$\phi - 10$

Figura 47. Inclinación de los paneles según la latitud.

Para el caso del mes de diciembre, β_{opt} es $\phi+10$, donde ϕ es la latitud del lugar elegido para nuestra instalación en grados.

Latitud (ϕ): $39^\circ 53' 55''$ N que es igual a $\phi=39,898^\circ$

Utilizando este método, la inclinación óptima de los paneles solares según el periodo es:

$$\text{Diciembre } \phi+10^\circ = 39,898+10 = 49,898^\circ$$

$$\text{Julio } \phi-20^\circ = 39,898-20 = 19,898^\circ$$

$$\text{Anual } \phi-10^\circ = 39,898-10 = 29,898^\circ$$

Con estas inclinaciones, se obtienen las menores pérdidas por inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Estos resultados se han comprobado parametrizando los valores de latitud de nuestra instalación, potencia del generador fotovoltaico y periodo de diseño (anual, verano o invierno) utilizando el programa PVSIST 5.73; donde se puede comprobar la inclinación óptima para cada uno de los periodos de diseño de la instalación obteniendo las menores pérdidas posibles.

- Periodo de diseño anual: las menores pérdidas por inclinación de los módulos se obtienen con un ángulo de inclinación de entre 31° y 35°.

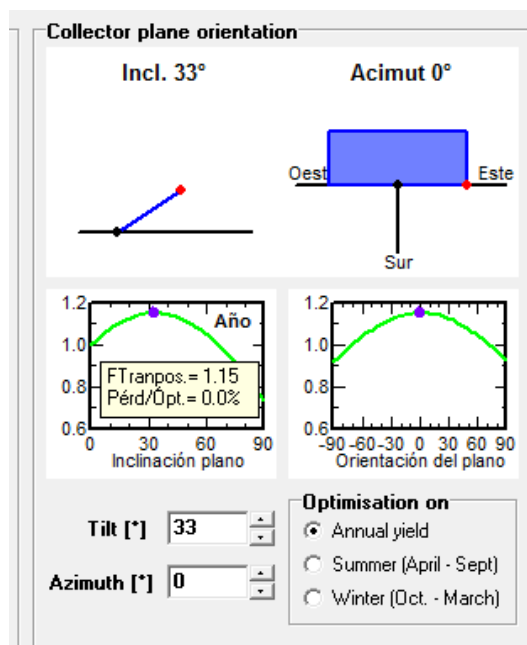


Figura 48. Inclinación óptima anual (PVSYST 5.73).

- Periodo de diseño en verano: las menores pérdidas por inclinación de los módulos se obtienen con un ángulo de inclinación de entre 12° y 20°.

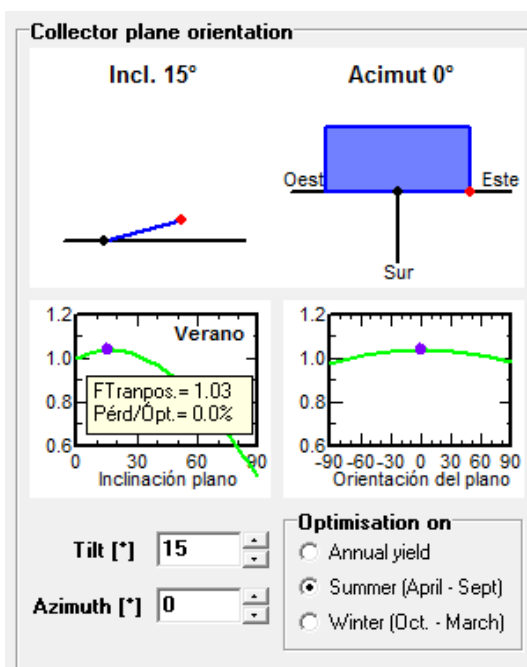


Figura 49. Inclinación óptima verano (PVSYST 5.73).

- Periodo de diseño invierno: las menores pérdidas por inclinación de los paneles las obtenemos con un ángulo de inclinación de entre 55° y 56°.

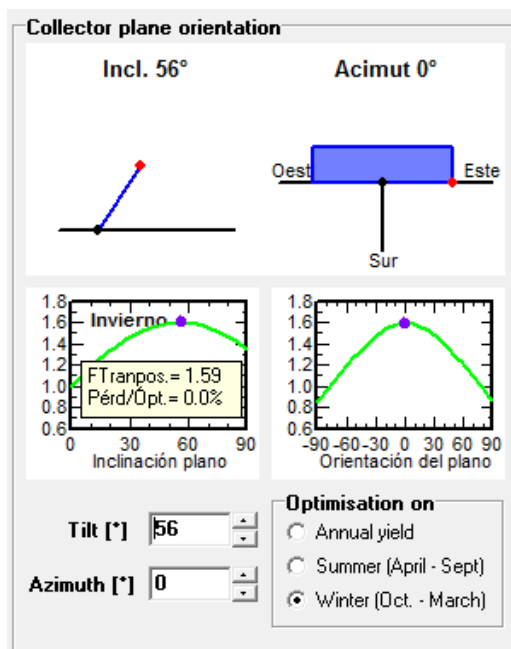


Figura 50. Inclinación óptima invierno (PVSIST 5.73).

Se observa que todos los ángulos obtenidos con el programa PVSIST 5.73 se aproximan a los calculados mediante el método del “mes peor”.

Distancia mínima entre filas de módulos.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la **distancia d**, medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura h que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que garantice al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

d ha de ser como mínimo igual a $h \cdot k$, siendo k un factor adimensional al que se le asigna el valor $1/\tan(61^\circ - \text{latitud})$.

Asimismo, la separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a $h \cdot k$, siendo en este caso h la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior.

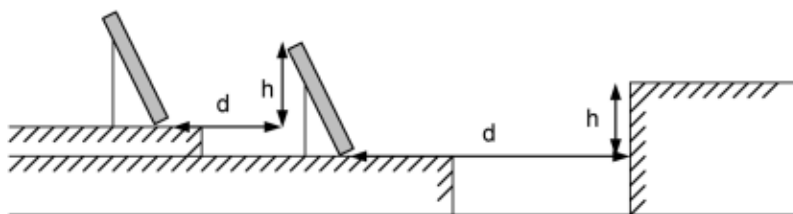


Figura 51. Distancias mínimas.

Esta distancia d será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

La distancia de separación entre filas de módulos depende del ángulo de inclinación de dichos módulos, por lo que cuanto más inclinado esté el módulo, mayor distancia deberá guardarse entre filas.

Como los paneles estarán fijos a la pérgola, se colocarán a la distancia que marque la ecuación anterior para un ángulo de 35° ya que es la máxima inclinación anual y donde deberá guardarse la máxima distancia entre filas de paneles. Sabiendo que la longitud del panel es de 992mm y forma un ángulo con la horizontal de 35° , la altura h de los paneles es:

$$h = \sin 35^\circ \cdot 0,992\text{m} = 0,569\text{m}$$

Conocida h en su inclinación máxima y la latitud del lugar ($39,898^\circ$), la distancia d entre paneles es:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = \frac{0,569\text{m}}{\tan(61^\circ - 39,898^\circ)} = 1,47\text{m}$$

Cálculo del número de paneles

Vamos a calcular el número de paneles necesarios para nuestra instalación teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Área de la cubierta que van a ocupar los módulos fotovoltaicos: $5 \times 15 = 75\text{m}^2$.

- La separación entre filas. Una vez calculada la separación mínima entre filas de paneles, calculamos el número de filas que irán sobre el área útil de la cubierta:

$$\text{número máximo de filas de paneles} = \frac{15}{1,47} = 10,2 \text{ filas}$$

El N_s debe garantizar que la tensión que forme el generador debe estar comprendida en el intervalo de tensiones de máxima potencia del inversor.

- Las dimensiones del panel solar. Como sabemos el área máxima que pueden ocupar los módulos y las dimensiones de cada uno de ellos, se obtiene el número de módulos por fila.

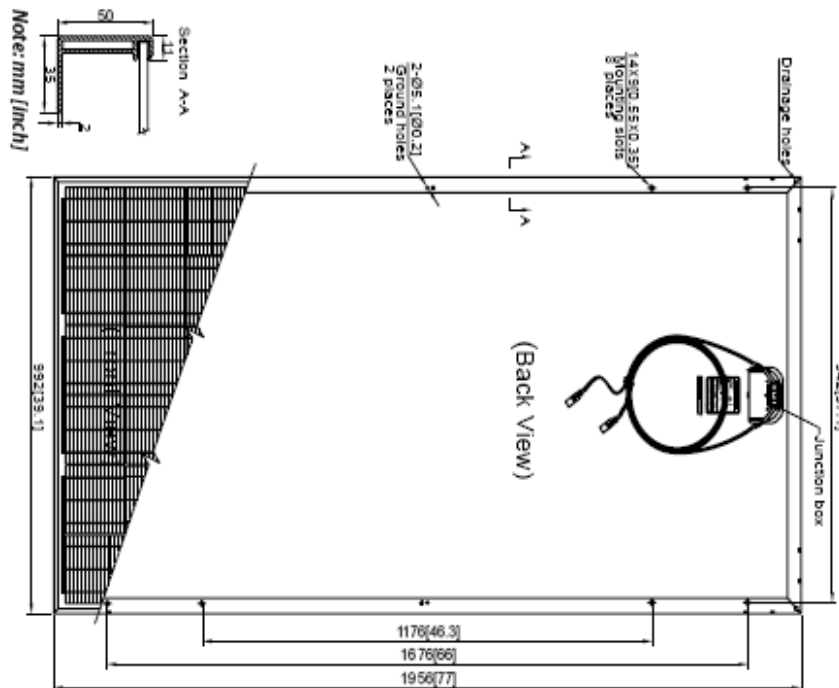


Figura 52. Dimensiones del módulo fotovoltaico STP 290-24/Vd.

Conocidas las dimensiones de los módulos fotovoltaicos, 1956x992mm y el área máxima a ocupar, 5x15m, el número de paneles por fila es:

$$\text{número máximo de paneles por fila} = \frac{5}{1,956} = 2,55 \text{ paneles}$$

Obtenidos el número máximo de paneles como de filas que pueden instalarse en el área útil de la cubierta, calcularemos el número de paneles solares de los que estará compuesto el generador fotovoltaico y su potencia nominal.

Tenemos 10 paneles por fila y 2 filas en la pérgola del parking, lo que suma un total de 20 paneles; si cada uno de estos paneles SUNTECH STP 290-24/Vd tiene una potencia nominal de 290W, la potencia máxima que podrá entregar el generador será de 5.800W.

La conexión de los paneles que forman el generador fotovoltaico es la siguiente: 2 ramales conectados en paralelo formados de 10 paneles cada uno conectados en serie. Esta conexión es muy importante a la hora de elegir el inversor, ya que tendremos que tener en cuenta los valores de tensión que producirá el generador fotovoltaico.

Además, también podemos calcular el número de paneles en paralelo de la siguiente forma y de esta manera nos sirve para comprobarlo:

$$N_p = P_{mp} / (N_s * P_{mp \text{ panel}}) = 5800 / (10 * 290) = 2 \text{ paneles en paralelo}$$

4.2.2. Elección del inversor.

El inversor deberá estar equipado con un dispositivo electrónico de seguimiento del punto de máxima potencia de los módulos, para lograr la máxima eficiencia energética del generador fotovoltaico. En condiciones estándar de funcionamiento, la máxima potencia a una tensión dada vendrá en las especificaciones de dicho módulo.

La tensión del punto de máxima potencia del inversor se encuentra en el rango 230-500V y la del panel 36,8V. Al tener 10 paneles en serie, obtenemos una tensión de 368 V que se encuentra en la mitad del rango 230-500V, y es un valor muy adecuado.

Además, para saber la potencia nominal del inversor hay que restarle entre 10-15% a la potencia nominal del generador, es decir, $5800\text{kW} - 10\% = 5220\text{W} = 5,2\text{kW}$, por lo que escogemos un inversor de 5kW.

DATOS DE ENTRADA	Fronius IG Plus 55 V-1
Potencia máxima CC con coseno $\varphi=1$	5.260 W
Máx. corriente de entrada	22,9 A
Máx. corriente de cortocircuito por serie FV	34,4 A
Máx. tensión de entrada	600 V
Rango de tensión MPP	230 - 500 V
DATOS DE SALIDA	
Potencia nominal CA	5.000 W
Máx. potencia de salida	5.000 VA
Máx. corriente de salida	21,7 A
Máx. rendimiento	95,7 %
Rendimiento europeo	94,9 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %
Acoplamiento a la red	1~NPE 230 V
Frecuencia	50 Hz / 60 Hz
Coefficiente de distorsión no lineal	< 3 %
Factor de potencia	0,75 - 1 ind./cap.
Consumo nocturno	< 1 W

Figura 53. Características del inversor de la instalación fotovoltaica.

Potencia por panel fv	290W
Potencia del generador fv	5800W
Número de paneles fv necesarios	20
Rango de tensión MPP inversor	230-500V
Tensión Máxima Potencia panel fv	36,8V
Número de paneles en serie	10
Número de paneles en paralelo	2

4.2.3. Gestor energético

Además tenemos que instalar un **gestor energético o CDP**, equipo ideal para la gestión de instalaciones fotovoltaicas en régimen de autoconsumo sin inyección a la red, como es nuestro caso. Es el encargado de regular la potencia máxima de producción del inversor fotovoltaico en función del consumo del usuario, de esta forma se puede asegurar la no inyección de excedentes energéticos a la red.

Tiene la misión de leer la corriente que quiere irse hacia la red. Cuando lo ve y en función de la potencia que lee, envía una orden al inversor para que suba la frecuencia. Con ello, el inversor rebaja la potencia generada y por tanto ya no sobra. Si sigue sobrando, da otra orden para que suba un poco más la frecuencia y de ese modo baje la potencia de nuevo.

4.3. Diagrama Unifilar

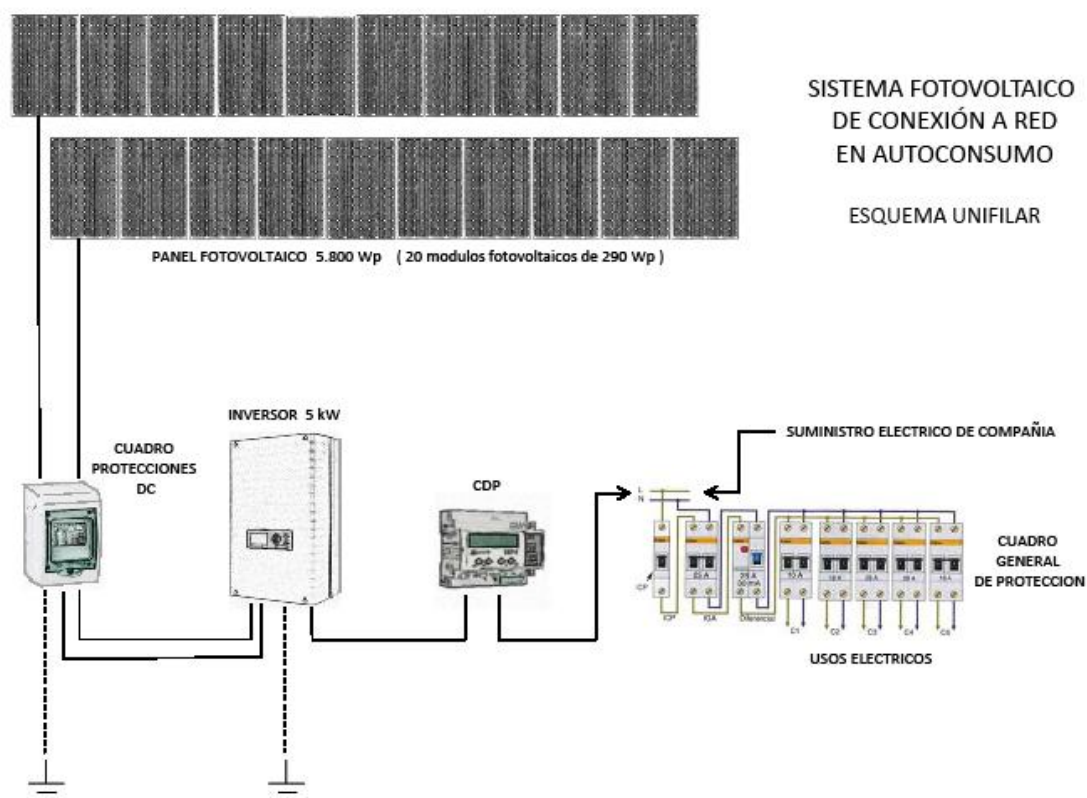


Figura 54. Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica del parking.

4.4. Energía generada por la instalación

Irradiancia del lugar:

Con PVGIS, vamos a ver la irradiancia (H) que tenemos en el lugar que hemos escogido para nuestra instalación. Con una inclinación de 35° y una orientación sur pura ($\pm 0^\circ$), los datos de irradiancia del lugar son los siguientes:

Latitud: $39^\circ 53' 55''$ Norte, Longitud: $5^\circ 16' 39''$ Oeste, Elevación: 354m

Month	H_h	H_{opt}	$H(35)$	I_{opt}	T_{24h}
Jan	2140	3660	3660	63	7.6
Feb	3250	4970	4970	56	9.0
Mar	4630	5920	5920	43	12.3
Apr	5870	6390	6390	28	14.0
May	6800	6580	6580	15	18.0
Jun	7850	7180	7180	6	23.4
Jul	8050	7540	7540	10	25.8
Aug	7010	7330	7330	23	25.5
Sep	5430	6630	6630	38	21.4
Oct	3660	5240	5240	52	16.9
Nov	2500	4200	4200	62	11.1
Dec	1890	3350	3350	65	8.1
Year	4930	5750	5750	35	16.1

Figura 55. Irradiancia del lugar.

H(35): Irradiación sobre plano inclinado: 35grados ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$).

Es necesario introducir las **horas de pico solar HPS** (h), definido como las horas de luz solar por día equivalentes en base a una irradiancia $I(\text{kW/m}^2)$ constante de 1kW/m^2 , a la cual está siempre medida la potencia de los módulos fv.

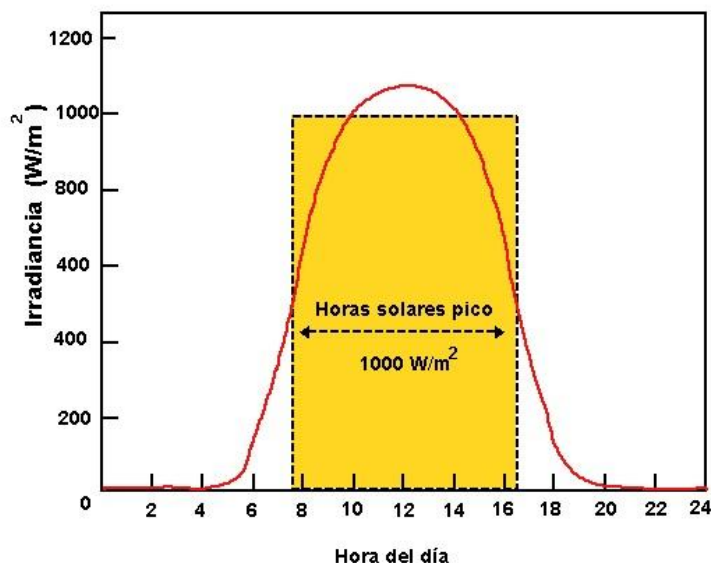


Figura 56. Radiación solar horas solares pico.

La **irradiación** H es el producto de la irradiancia de referencia I por las horas de pico solar HPS:

$$H(\text{kWh/m}^2) = I(1\text{kW/m}^2) * \text{HPS}(\text{h}); \quad H = \text{HPS}$$

Para calcular la **energía generada** por nuestra instalación lo haremos con la siguiente fórmula:

$$\text{Energía generada} = \text{HPS} * \text{Potencia pico FV}$$

A este valor teórico hay que aplicarle un factor de pérdidas, conocido como **Performance Ratio (PR)**. Mide el rendimiento de una instalación una vez descontadas las pérdidas de potencia relativas a un sistema fotovoltaico y es independiente de la irradiación. Un PR medio por debajo del 70%, es decir, con pérdidas del 30%, es el mínimo valor que cabría esperar, ya que por debajo de este valor la instalación sería ineficiente. Vamos a tomar como valor del PR el 80% que es el óptimo, es decir, 0,8. Comprobaremos con el PVSYS que este valor es menor de 0,8, ya que el programa nos da un valor de PR de 0,765.

Calcularemos la energía generada, por ejemplo, para los meses de Febrero, Julio y Octubre para que sea más real, y luego una media anual:

$$\begin{aligned} \text{Energía generada FV}_{\text{FEB}} &= 4,97\text{h} * 5,8\text{kW} = 28,826\text{kWh/día} \\ \text{Energía real generada}_{\text{FEB}} &= 28,826\text{kWh/día} * 0,8 = 23,06\text{kWh/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Precio} &= 23,06 \text{ kWh/día} * (\text{precio €/kWh} + 21\% \text{ IVA}) = \\ & 23,06 \text{ kWh/día} * 0,18 \text{ €/kWh} = 4,15 \text{ €/día}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energía generada FV}_{\text{JUL}} &= 7,54 \text{ h} * 5,8 \text{ kW} = 43,732 \text{ kWh/día} \\ \text{Energía real generada}_{\text{FEB}} &= 43,732 \text{ kWh/día} * 0,8 = 34,98 \text{ kWh/día} \\ \text{Precio} &= 34,98 \text{ kWh/día} * 0,18 \text{ €/kWh} = 6,29 \text{ €/día}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energía generada FV}_{\text{OCT}} &= 5,24 \text{ h} * 5,8 \text{ kW} = 30,392 \text{ kWh/día} \\ \text{Energía real generada}_{\text{OCT}} &= 30,392 \text{ kWh/día} * 0,8 = 24,31 \text{ kWh/día} \\ \text{Precio} &= 24,31 \text{ kWh/día} * 0,18 \text{ €/kWh} = 4,38 \text{ €/día}\end{aligned}$$

Podemos calcular una media anual, aunque siempre va a ser un cálculo menos exacto:

$$\text{Energía generada} = 5,75 \text{ h} * 5,8 \text{ kW} = 33,35 \text{ kWh/día}$$

Teniendo en cuenta que la instalación fotovoltaica está funcionando los 365 días del año:

$$\begin{aligned}\text{Energía generada anual} &= 33,35 \text{ kWh/día} * 365 \text{ días} = 12172,75 \text{ kWh} \\ \text{Energía real generada anual} &= 12172,75 \text{ kWh} * 0,8 = 9738,2 \text{ kWh} = 9,74 \text{ MWh} \\ \text{Ahorro} &= 9738,2 \text{ kWh/año} * 0,18 \text{ €/kWh} = 1752,88 \text{ €/año}\end{aligned}$$

Hay que tener en cuenta, que a parte de la energía que genera el sistema, la cual el cliente ya no tiene que comprársela a la compañía eléctrica, las emisiones de CO₂ también se reducirán, lo que es beneficioso para el medioambiente. Estas emisiones pueden aproximarse a 0,8kg menos por cada kWh generado a lo largo del año.

$$\text{No emisiones de CO}_2 = 0,8 * 9738,2 \text{ kWh} = 7790,56 \text{ kg}$$

4.5. Consumo y generación fotovoltaica

A continuación, vamos a representar el consumo y la generación fotovoltaica de nuestra instalación en función de las horas a lo largo de un día:

Hora	Consumo (kW)	Generación Fv (kW)
8	1,5	0
9	1,5	0,3
10	2	1
11	2,2	1,8
12	3	2,2
13	5	3
14	7,5	5
15	7,5	5
16	5	4
17	2,5	3
18	2	1,8
19	1,8	1,5
20	1,5	0

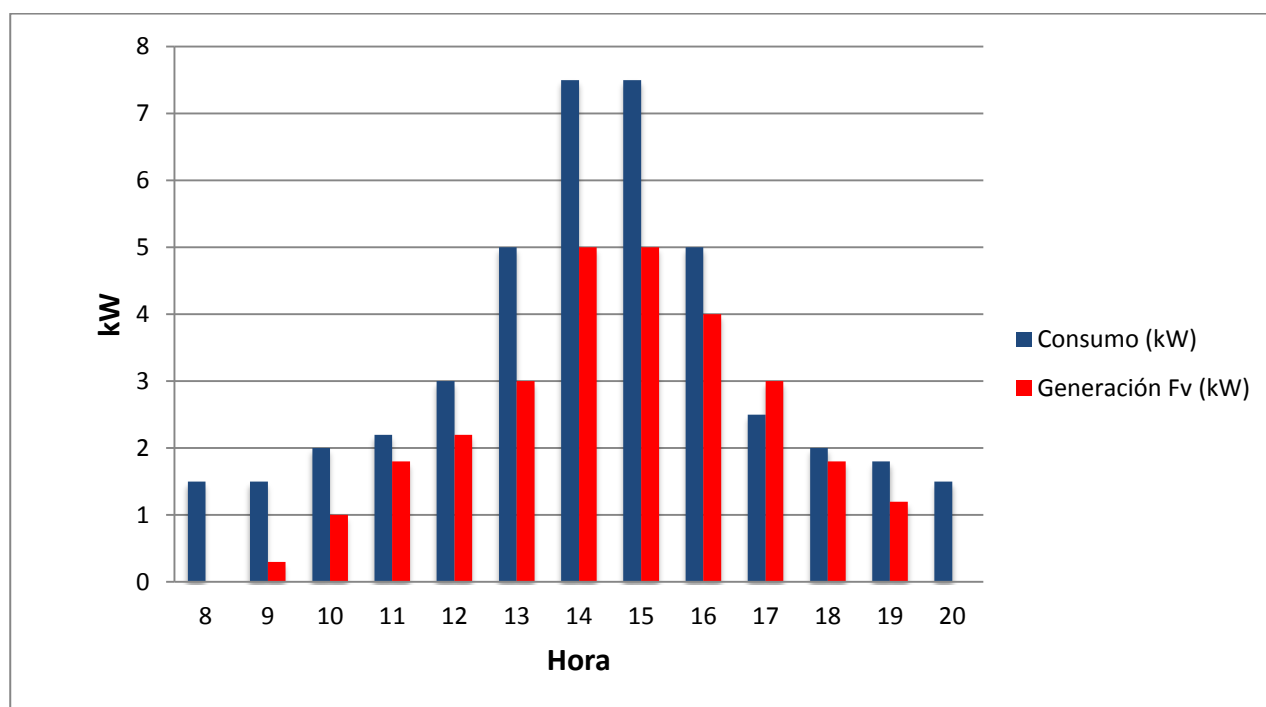


Figura 57. Gráfica de consumo y generación de la instalación fotovoltaica.

Se puede observar que la máxima generación está limitada por el inversor con un valor de 5kW. En los momentos en los cuales el consumo es superior a la generación, esa potencia que demanda el restaurante hay que tomarla de la red. Podemos ver en el diagrama, las barras azules que sobresalen sobre las rojas, y esa es la potencia que tomaremos de la red.

Si en lugar de hacerlo como un gráfico de barras, representamos la generación fv como una línea recta, vemos como se asemeja a una **campana de Gauss**.

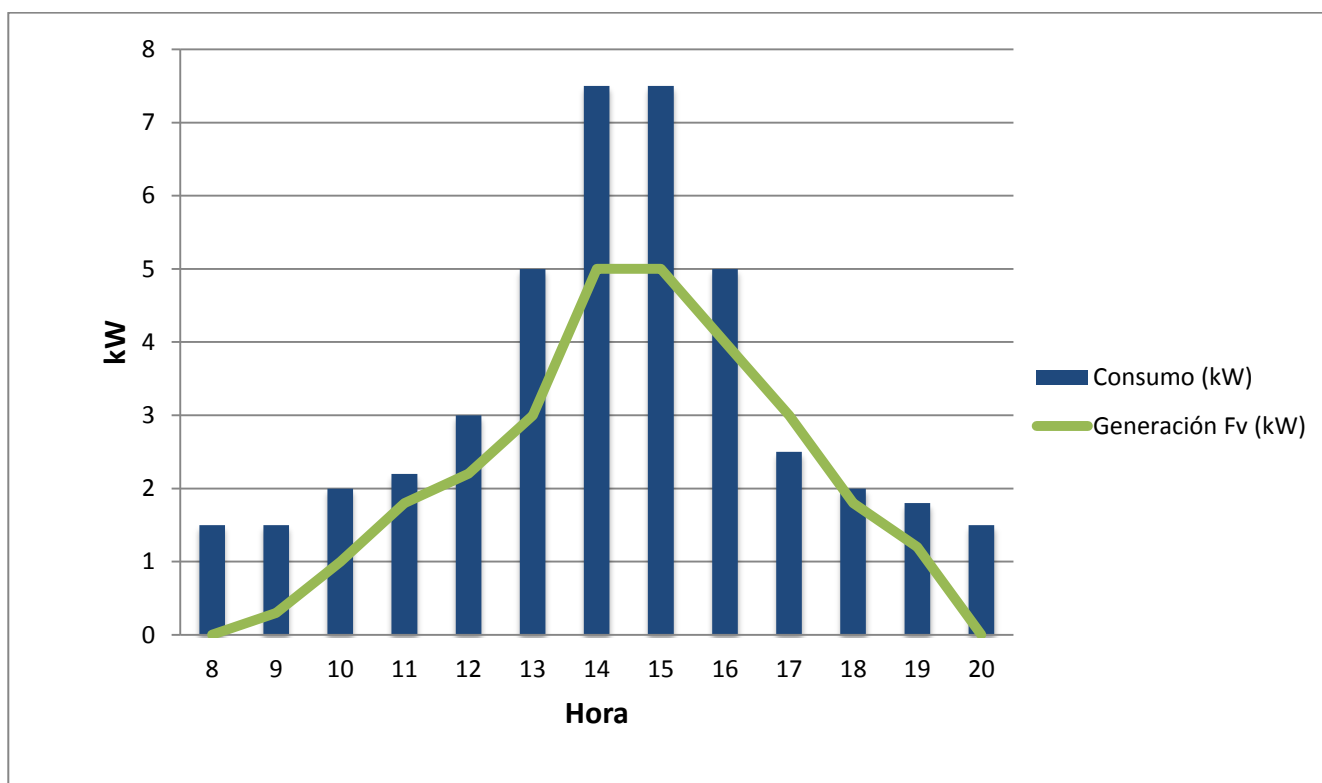


Figura 58. Gráfica de consumo y generación que se aproxima a campana de Gauss.

Podemos ver como en ciertas horas del día, la generación supera al consumo; en estos momentos es cuando tiene que actuar el gestor energético. Por ejemplo, el generador fotovoltaico a las 17h da 3kW y solo se consumen 2,5kW, por lo que para garantizar la no inyección a la red tiene que bajarse esa potencia y de eso se encarga dicho gestor.

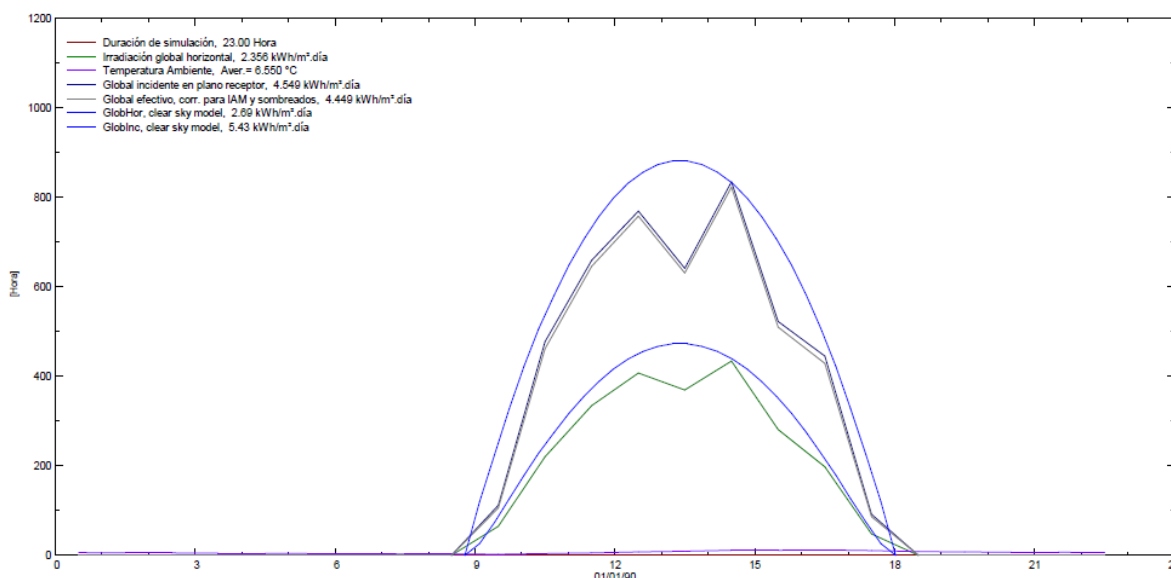
4.6. Simulación con PVSYST

Partiendo de las especificaciones técnicas de la instalación, he parametrizado la instalación en un software de cálculo de instalaciones solares como es PVSYST, de gran fiabilidad y frecuentemente utilizado en el sector. Al introducir las características técnicas de los módulos fv e inversor, y situando la instalación en La Calzada de Oropesa (Toledo), con un inversor y módulos fotovoltaicos orientados totalmente al sur y a una inclinación de 35° respecto a la horizontal, el software realiza una simulación del comportamiento de la instalación a lo largo de todo el año, dando mucha información. La información más relevante es la siguiente:

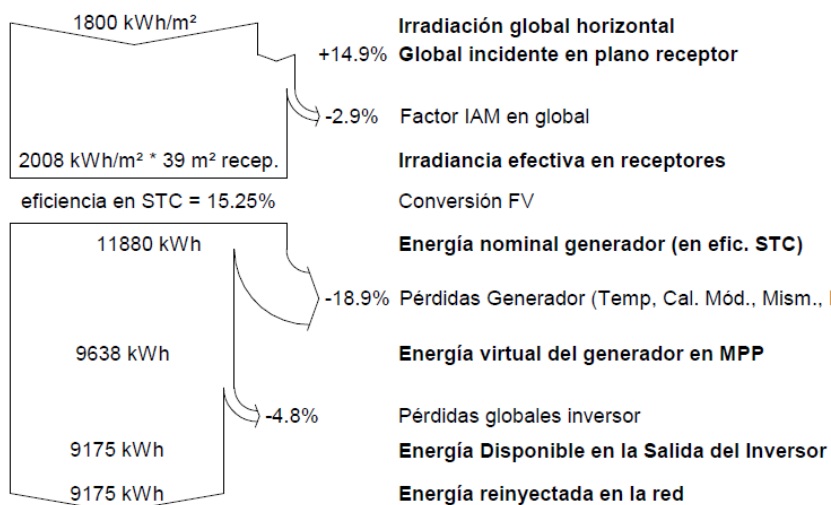
- **Número de módulos en serie y paralelo.** Comprobamos que nos da lo mismo que hemos calculado anteriormente, $N_s=10$ y $N_p=2$.
- **Producción total anual: 9,17 MWh/año:** energía que se autoconsumirá, la cual dejará de consumirse de la red eléctrica.
- **Factor de Rendimiento: 76,5%,** lo que nos indica que aunque la potencia pico de los módulos fv sea de 5,8kWp y la potencia nominal del inversor sea de 5kW, la potencia real máxima que inyectará la instalación será un promedio de un 23,5% inferior.

Destacaremos las siguientes gráficas obtenidas con PVSYST:

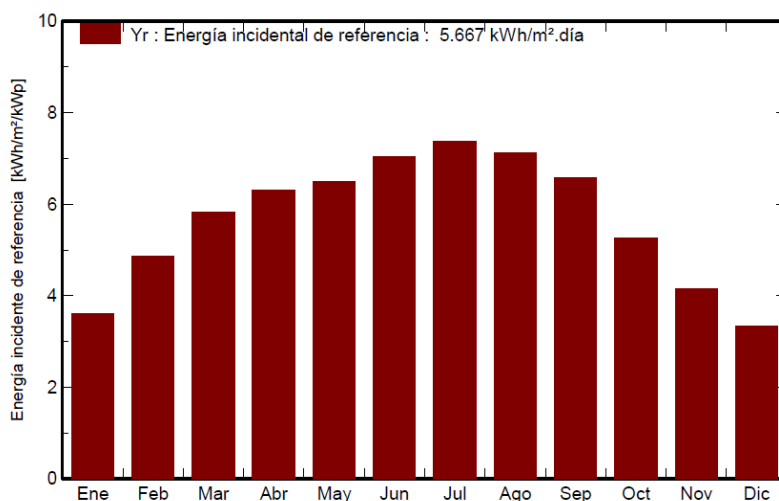
- Irradiancia



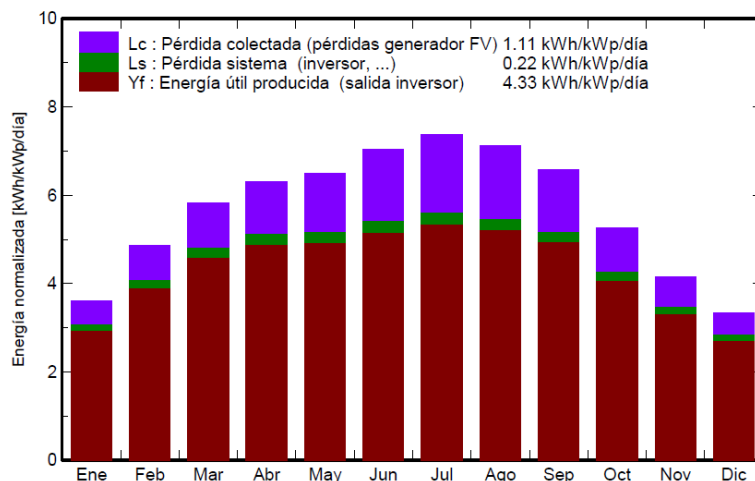
- Pérdidas del sistema



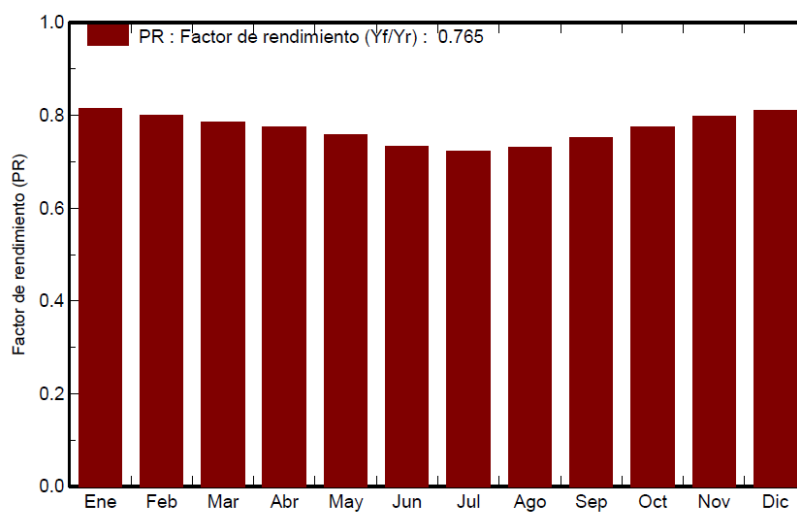
- Energía incidente de referencia en el plano receptor



- Producciones normalizadas por kWp instalado (Potencia nominal de 5,8kWp) y factor de pérdidas



- **Factor de rendimiento (PR)**



PVSYST V5.73		20/06/14		Página 1/3	
<p align="center">Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación</p>					
Proyecto : Proyecto Conectado a la Red La Calzada					
Lugar geográfico		La Calzada de Oropesa		País	España
Ubicación		Latitud	39.9°N	Longitud	5.3°W
Hora definido como		Hora Legal	Huso hor. UT+1	Altitud	354 m
		Albedo	0.20		
Datos climatológicos : La Calzada de Oropesa, Síntesis datos por hora					
Variante de simulación : Nueva variante de simulación					
Fecha de simulación 20/06/14 13h05					
Parámetros de la simulación					
Orientación Plano Receptor		Inclinación	35°	Acimut	0°
Perfil obstáculos		Sin perfil de obstáculos			
Sombras cercanas		Sin sombreado			
Características generador FV					
Módulo FV	Si-poly	Modelo	STP 290-24/Vd		
		Fabricante	Suntech		
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	2 cadenas
Nº total de módulos FV		Nº módulos	20	Pnom unitaria	290 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	5.80 kWp	En cond. funciona.	5.35 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	339 V	I mpp	16 A
Superficie total		Superficie módulos	38.8 m²		
Inversor					
		Modelo	IG Plus 55 V-1		
		Fabricante	Fronius International		
Características		Tensión Funciona.	230-500 V	Pnom unitaria	5.00 kW AC
Factores de pérdida Generador FV					
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)				TONC	56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	358 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdidas por polvo y suciedad del generador			Fracción de Pérdidas	5.0 %	
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	0.1 %	
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	2.0 % en MPP	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05	
Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)					

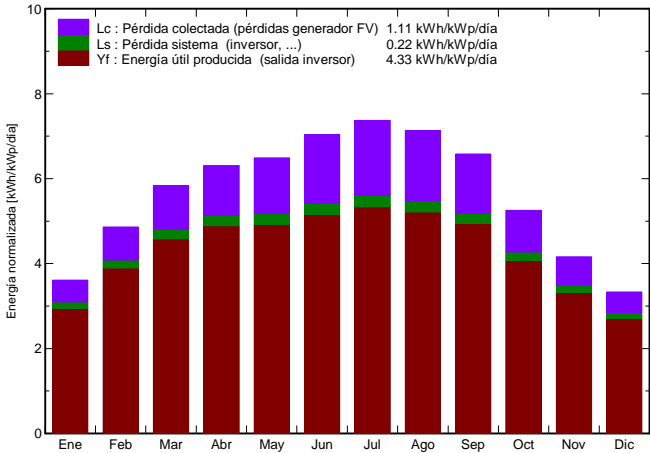
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red La Calzada
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

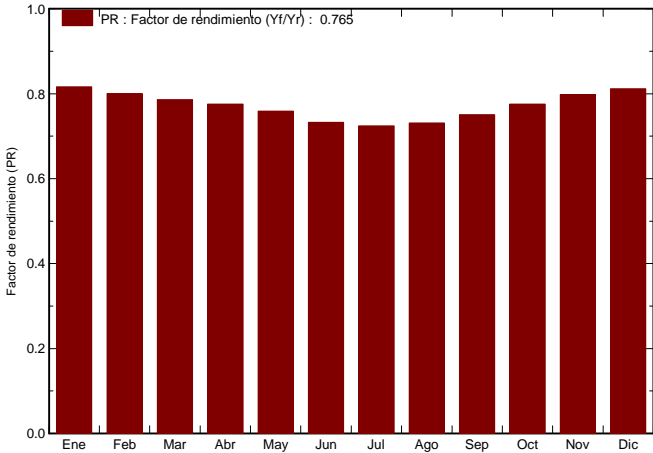
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación	35°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	STP 290-24/Vd	Pnom 290 Wp
Generador FV	N° de módulos	20	Pnom total 5.80 kWp
Inversor	Modelo	IG Plus 55 V-1	Pnom 5.00 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Resultados principales de la simulación			
Producción del Sistema	Energía producida	9.17 MWh/año	Produc. específico 1582 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	76.5 %	

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 5.80 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	%	%
Enero	66.3	7.60	111.9	109.1	0.557	0.530	12.82	12.20
Febrero	91.0	9.00	136.2	132.7	0.664	0.632	12.56	11.97
Marzo	143.5	12.30	180.8	175.9	0.865	0.824	12.33	11.75
Abril	176.1	14.00	189.2	183.5	0.894	0.851	12.17	11.59
Mayo	210.8	18.00	201.2	194.5	0.930	0.886	11.92	11.34
Junio	235.5	23.40	211.2	203.9	0.943	0.897	11.51	10.95
Julio	249.6	25.80	228.6	221.0	1.009	0.960	11.37	10.82
Agosto	217.3	25.50	221.0	214.4	0.985	0.938	11.48	10.93
Septiembre	162.9	21.40	197.4	191.9	0.903	0.860	11.78	11.22
Octubre	113.4	16.90	162.8	158.7	0.769	0.733	12.17	11.59
Noviembre	75.0	11.10	124.8	121.5	0.607	0.578	12.54	11.94
Diciembre	58.6	8.10	103.4	100.6	0.512	0.487	12.77	12.13
Año	1800.1	16.13	2068.4	2007.7	9.638	9.175	12.01	11.43

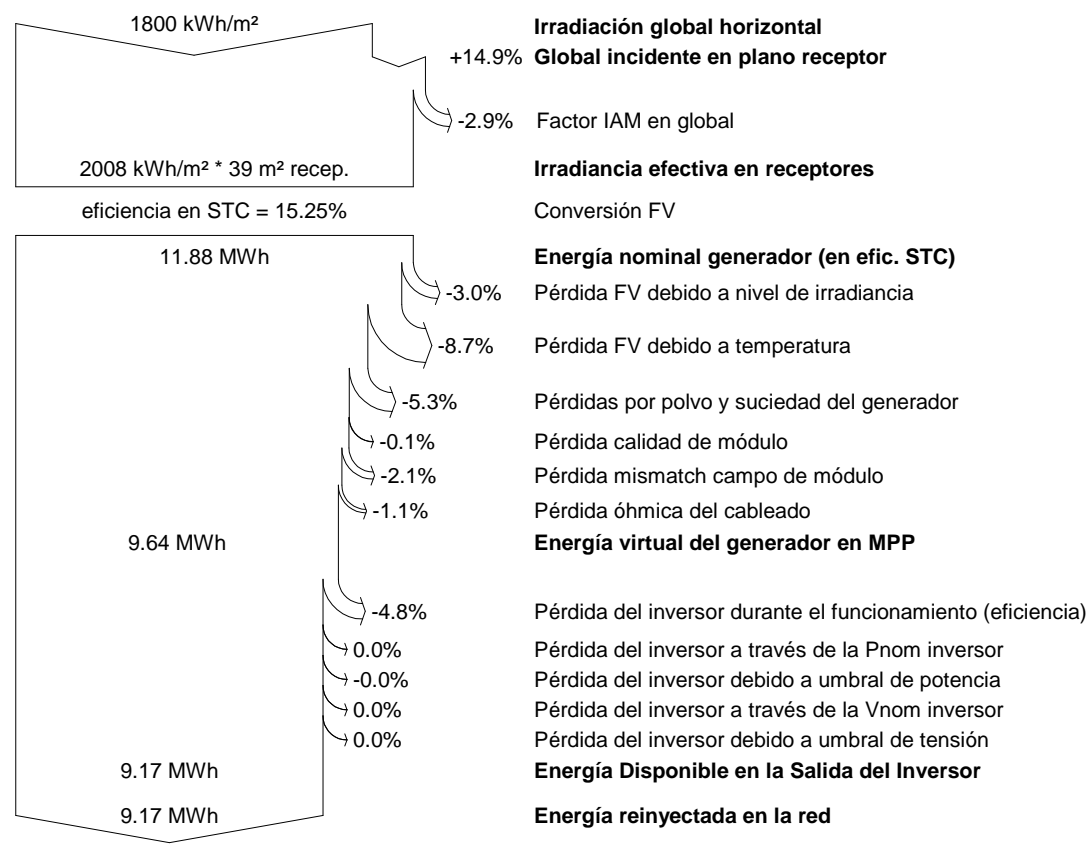
Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente en plano receptor	EffArrR	Eficiencia Esal campo/superficie bruta
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EffSysR	Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red La Calzada
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación	35°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	STP 290-24/Vd	Pnom 290 Wp
Generador FV	N° de módulos	20	Pnom total 5.80 kWp
Inversor	Modelo	IG Plus 55 V-1	Pnom 5.00 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año



Capítulo 5. Conclusiones

La realización del presente Trabajo Fin de Grado ha afianzado y ampliado conceptos aprendidos a lo largo de la carrera sobre sistemas fotovoltaicos. El objetivo era analizar los tres tipos de autoconsumo que tenemos ahora mismo en España y la ley que los regula.

Para el caso del Autoconsumo Instantáneo, el marco legislativo actual permite realizar inversiones que se amortizan en un plazo razonable, y permiten tener un suministro eléctrico más barato y eficiente.

Como se ha podido comprobar en el ejemplo analizado, se produce un ahorro económico y una disminución en las emisiones de CO₂.

En cambio, en el caso del Balance Neto el principal obstáculo con el que se encuentra es el propio país, ya que no tiene regulado un suministro eléctrico con balance neto, lo que lo convierte en un vacío legal al estar pendiente de aprobación.

Tampoco se puede vender a la red eléctrica la energía excedente, sino que hay que entregarla gratuitamente, sin recibir ningún tipo de compensación económica.

La finalidad del autoconsumo era ahorrar el coste de la electricidad y vender la energía sobrante, pero con la nueva ley del sector eléctrico, de 28 de diciembre, que introduce un peaje de respaldo a la producción y consumo instantáneo que debe pagarse a las compañías eléctricas, el precio de venta de la energía excedente se reduce considerablemente. Debido a este peaje, sale más caro producir tu propia energía que comprársela a la compañía eléctrica.

El ciudadano era un sujeto pasivo, pero hoy día tiene la posibilidad de elegir entre pagar su recibo o gestionar su energía para hacer un intercambio con la compañía eléctrica.

En Alemania ya se está convirtiendo en realidad, a pesar de tener unas condiciones climatológicas peores que en nuestro país, su irradiación media es un 60% de la que tenemos en España.

Sin embargo, en España, de aprobarse el borrador del nuevo decreto ley, desaparecería esta opción, ya que “impone un impuesto al consumidor superior al ahorro que le supone la instalación del sistema”.

Con el fin de obtener una energía limpia y económica, el objetivo perseguido en este tipo de instalaciones es presentar un comportamiento óptimo. Para ello, los equipos que deben elegirse son los que nos aporten la máxima eficiencia de la instalación, eligiendo módulos e inversor como se ha hecho en el ejemplo analizado.

Las instalaciones para autoconsumo instantáneo han de ser pequeñas, ya que es bastante complicado que se pueda generar toda la energía que consume un local o domicilio con una instalación fotovoltaica en su tejado, porque no se dispone de tanta superficie para hacer una instalación grande y su coste sería demasiado grande. Se trata de tener una instalación que permita una reducción del consumo de la vivienda, aunque en determinadas horas de alto consumo tenga que tomar parte de esa energía de la red.

Como hemos visto en el ejemplo analizado, la potencia generada por nuestra instalación vendrá limitada por el inversor, y en los momentos en los que se genere más de lo que se consume, tendrá que actuar el gestor energético para asegurar la no inyección de energía a la red.

Por lo tanto, la conclusión que se puede obtener del presente trabajo, es que se ha comprobado que las instalaciones de autoconsumo conllevan ahorros económicos en la factura eléctrica, y medioambientales, al reducir las emisiones contaminantes; pero si se implanta el impuesto de autoconsumo dejarán de serlo y se cancelarán todas las posibilidades de desarrollo de estas instalaciones.

Capítulo 6. Bibliografía y Referencias

[1] Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

[2] Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

[3] Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

[4] Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

[5] Boletín oficial del estado. Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

[6] Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.

[7] Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

[8] José M. Fernández Salgado (2007). Guía completa de la energía solar fotovoltaica. Madrid: AMV Ediciones.

Informe de la Comisión Nacional de Energía (CNE) sobre Autoconsumo Fotovoltaico.

AEMET, Agencia Estatal de Meteorología.

CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.



PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS DE INSTALACIONES CONECTADAS A RED, PCT-C-REV-julio 2011, IDAE.

Apuntes de la asignatura “Generación Eólica y Fotovoltaica”, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid.

Software de cálculo de instalaciones solares fotovoltaicas: PVSYST 5.

Recursos electrónicos:

Circutor, consultada el 10 de mayo de 2014, en <http://www.circutor.es>

Fronius, consultada el 10 de junio de 2014, en <http://www.fronius.es>

Ingeteam, consultada el 12 de mayo de 2014, en <http://www.ingetteam.es>

Suntech, consultada el 10 de junio, en <http://www.suntech-power.com>

Inversores Fotovoltaicos diseñados para el autoconsumo, KOSTAL, consultada el 30 de abril de 2014, en <http://www.kostal.es>

Unión Española Fotovoltaica (UNEF), consultada el 15 de junio de 2014, en <http://www.unef.es>

Sistemas fotovoltaicos Autónomos, Sfe Solar, consultada el 10 de mayo de 2014, en <http://www.sfe-solar.com>

Noticias sobre Autoconsumo, Energías Renovables, consultada el 10 de junio de 2014, en <http://www.energias-renovables.com/articulos-fotovoltaica>

Precios del mercado eléctrico español, OMIE, consultada el 10 de mayo de 2014, en <http://www.omie.es/inicio/mercados-y-productos/mercado-electricidad>

SolarWeb, consultada el 30 de abril de 2014, en <http://www.solarweb.net>

Suelo Solar, consultada en 8 de mayo de 2014, en <http://www.suelosolar.com/newsolares>

Funciones del gestor energético, Quenergía, consultada el 9 de mayo de 2014, en <http://www.quenergia.com>

Noticias sobre Autoconsumo, periódico El País, consultada el 10 de junio, en <http://www.elpais.com>

Datos de la irradiación, PVGIS, re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

Conferencias:

“Soluciones para Autoconsumo Fotovoltaico: Presente y Futuro”, Conferencia realizada en la Universidad Carlos III de Madrid el 24 de abril de 2013, Leganés, Madrid.

“La tecnología fotovoltaica como vector de desarrollo”, Jornadas Técnicas de Genera 2014, realizadas en IFEMA el 6 de mayo de 2014, Madrid.

